This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`

ENG
TA[illegible]
[illegible]
[illegible]
v.2
[illegible]
[illegible]

14
C

CONGRÈS INTERNATONAL

DE

MÉCANIQUE APPLIQUÉE

Paris. — Imprimerie E. Bernard et Cie, 71, rue La Condamine.

CONGRÈS INTERNATIONAL

DE

MÉCANIQUE APPLIQUÉE

Tenu à Paris du 16 au 21 septembre 1889

SOUS LA PRÉSIDENCE DE **M. PHILLIPS**, MEMBRE DE L'INSTITUT

TOME DEUXIÈME

PARIS

E. BERNARD ET Cie, IMPRIMEURS-ÉDITEURS

LIBRAIRIE
53 ter, Quai des Grands-Augustins

IMPRIMERIE
71, Rue La Condamine, 71

1890

PREMIÈRE QUESTION

Unification du cheval-vapeur. — Spécification de la puissance des générateurs de vapeur. — Rendement.

RAPPORT DE M. ALFRED TRESCA

INGÉNIEUR DES ARTS ET MANUFACTURES
PROFESSEUR A L'ÉCOLE CENTRALE ET A L'INSTITUT AGRONOMIQUE

Déjà, lors du congrès du génie civil, en 1878, la question de l'unification du cheval-vapeur et de la spécification de la puissance des générateurs de vapeur a été discutée sans qu'aucune résolution ait été prise; il était donc nécessaire d'appeler à nouveau l'attention des ingénieurs sur cette question, dans un congrès, ayant lieu onze ans après celui que nous venons de citer.

La question a fait certainement un pas depuis cette époque : l'emploi des appareils d'observation s'est généralisé, des types très divers de générateurs de vapeur se sont répandus, et un des grands progrès que l'on peut constater, et qui permet de résoudre plus facilement la question actuelle, consiste, suivant nous, dans une séparation bien plus complète de la question en deux parties bien distinctes : production de la vapeur d'une part, utilisation de cette vapeur de l'autre.

Dans les marchés importants, relatifs à la construction et à l'établissement des moteurs à vapeur, on stipule, maintenant de plus en plus rarement, que le moteur devra consommer, par exemple, 1 kilogramme ou 1 kilogramme 1/2 de combustible par cheval et par heure.

On indique, tout d'abord, que la machine à vapeur doit consommer un certain nombre de kilogrammes de vapeur, par cheval indiqué ou par cheval mesuré sur l'arbre; puis, ce premier point élucidé, on passe aux conditions de fonctionnement de la chaudière, en stipulant que telle chaudière doit avoir telle surface de chauffe, doit permettre la vaporisation de tant de kilogrammes d'eau par kilogramme de combustible, etc.

Il n'y a d'exception à cette règle que dans le cas où les machines sont portatives, locomobiles ou demi-fixes, dans lesquelles chaudières et machines sont solidaires l'une de l'autre.

En divisant ainsi la question en deux, l'examen du moteur à vapeur est sim-

plifié, et nous allons passer en revue, tout d'abord, les moyens de spécifier les conditions de fonctionnement du moteur, considéré en lui-même, sans s'occuper pour l'instant des moyens de production de la vapeur nécessaire à son fonctionnement, pour envisager un peu plus tard la question de la production de la vapeur, ou, ce qui revient au même, les conditions d'établissement de la chaudière.

Pour résumer ici les opinions émises lors du congrès de 1878, nous dirons, qu'à l'exception d'un orateur qui avait proposé que l'on revienne à une unité plus conforme à notre système métrique, en adoptant le cheval-vapeur de 100 kilogrammètres par seconde, l'assemblée a paru se rallier à l'idée de conserver l'unité adoptée depuis Watt, le cheval-vapeur de 75 kilogrammètres par seconde.

Les partisans de cette opinion ont indiqué qu'en effet cette unité est adoptée, à peu de chose près, par l'Angleterre, l'empire d'Allemagne et l'Autriche, pour ne parler que des grands États de l'Europe, et que toute proposition, qui tendrait à modifier profondément cette base, courrait le risque d'être repoussée immédiatement.

Ce point paraissant admis, il y a lieu de se demander de quelle façon la puissance exprimée en chevaux-vapeur de 75 kilogrammètres par seconde, serait mesurée, si, par exemple, la puissance du moteur serait mesurée sur l'arbre, ou bien si l'on adopterait une autre méthode, en se rapprochant d'un usage répandu déjà depuis longtemps en Angleterre, en Amérique, et un peu plus tard en France.

L'indicateur de pression est devenu de nos jours un instrument tout-à-fait usuel, et les constructeurs anglais ont pris l'habitude, depuis nombre d'années, de ne livrer leurs moteurs que disposés pour adapter facilement un indicateur de pression sur les différents cylindres composant la machine à vapeur.

Les constructeurs français ont été un peu plus longs à adopter cet usage; mais on peut dire que, maintenant, toute machine à vapeur de quelque importance n'est livrée que munie des raccords et transmissions nécessaires pour faire fonctionner l'indicateur de pression, et se rendre compte du mode d'emploi de la vapeur dans les différentes chambres.

Rien de plus simple, dès lors, de vérifier, pendant les essais qui précèdent ou qui suivent immédiatement la livraison, si les conditions du marché sont satisfaites, au point de vue de la consommation de vapeur par cheval indiqué, en admettant qu'une stipulation de ce genre ait été introduite dans le contrat.

La tendance générale actuelle est d'agir ainsi, en évaluant non plus la puissance d'une machine en chevaux-vapeur mesurés sur l'arbre, ce qui présente dans un certain nombre de cas spéciaux, de grandes difficultés, mais bien en chevaux indiqués, mesurés à l'aide d'instruments bien connus, les indicateurs de pression.

Ces instruments, tels qu'on les construit maintenant, c'est-à-dire en réduisant au minimum le poids des pièces en mouvement, ou bien en faisant décrire à ces

différentes pièces des déplacements de peu d'amplitude que l'on augmente ensuite, peuvent être employés en toute confiance pour la détermination du travail de la vapeur dans les différentes chambres des cylindres du moteur.

Nous ne repoussons pas pour cela, d'une manière absolue, la détermination du travail mesuré sur l'arbre de la machine, en un ou en plusieurs essais au frein, de courte durée, qui seront toujours nécessaires, lorsqu'on voudra se rendre compte du rendement de la machine à vapeur, en travail mécanique, pour juger de la perfection de sa construction.

Rendement. — Ce rendement est toujours donné par le rapport qui existe entre le travail mesuré au frein et le travail indiqué, déduit du relevé d'un certain nombre de tracés obtenus à l'aide de l'indicateur de pression.

Si cette manière de voir tend à se généraliser, en ce qui concerne les machines de terre, deux autres catégories de machines sont encore en dehors, du moins en partie, de la loi commune : nous voulons parler des machines marines et des locomotives.

Machines marines. — Il y a environ trente ans, les dénominations, en ce qui concerne les machines marines, étaient encore des plus diverses.

On employait, en effet :

1° Le cheval de basse pression, en employant la formule de Watt

$$F = \frac{D^2CN}{0,59}$$

et en la modifiant par l'introduction d'un terme $\frac{p}{63}$, p étant la pression moyenne exprimée en centimètres de mercure, et provenant de la recherche de l'ordonnée moyenne d'un tracé à l'indicateur ;

2° Le cheval de 30 litres, en rappelant ainsi la consommation de vapeur des machines de Watt ;

3° Le cheval nominal, en employant la règle de l'amirauté anglaise caractérisée par la formule

$$F = D^2V \frac{1}{6000}$$

D étant exprimé en pouces et V étant exprimée en pieds par minute.

4° Le cheval tel qu'il se déduit de la formule de Moll

$$Tu = 7,117\, D^2CN\ (p - x)$$

p et x étant exprimés en centimètres de mercure.

5° Le cheval indiqué.

Si l'on ajoute à cette nomenclature la proposition faite par Rech de prendre pour unité de puissance le cheval de 100 kilogrammètres par seconde, mesure

sur le piston, revenant, suivant lui, au cheval de 75 kilogrammètres, mesuré sur l'arbre, en adoptant pour la machine le rendement de 0,75 ;

Si l'on fait remarquer encore que le cheval a été pris aussi, à la même époque, égal à trois ou quatre fois la valeur adoptée pour les machines fixes, les valeurs choisies variant entre 200 et 300 kilogrammètres par seconde, on voit que la confusion était aussi grande que possible, et qu'il était bien difficile de s'y reconnaître entre ces différentes notations.

A la fin de 1867, Dupuy de Lôme a proposé d'adopter une règle unique, et un arrêté ministériel, pris à cette époque, et encore en vigueur maintenant, a donné une consécration officielle à l'opinion émise par Dupuy de Lôme, en ce qui concerne l'appréciation de la puissance des machines marines de l'État français.

Il était prescrit de ne plus employer que l'expression du cheval indiqué, et l'on arrêta, en même temps, comme règle absolument empirique, que la force nominale de la machine serait désignée par le quart du nombre représentant la puissance de la machine exprimée en chevaux indiqués.

Cette règle revient évidemment à considérer le cheval-vapeur comme exprimé en unités beaucoup plus grandes ($4 \times 75 = 300$ kilogrammètres par seconde), lorsque l'on veut exprimer la force nominale des machines de la marine.

La règle empirique que nous venons de rappeler n'avait évidemment pour but que de rapprocher la force nominale des machines de construction française d'évaluations en usage dans certains pays, Amérique ou Angleterre, en ce qui concerne les machines de même puissance.

Cette confusion, certainement moins grande depuis quelques années, cesserait évidemment si l'on abandonnait complètement cette expression de *force nominale*, et si l'on se bornait à exprimer le travail des machines marines en travail mesuré à l'indicateur de pression, ou travail indiqué.

Les difficultés presque insurmontables que l'on rencontrerait si l'on voulait évaluer le travail des machines de grandes puissances mesuré sur l'arbre, la nécessité dans laquelle on se trouverait d'employer des dynamomètres puissants pour déterminer le travail transmis à un arbre d'hélice, par exemple, rendent encore cette dénomination en travail indiqué plus utile et, par conséquent, plus acceptable.

Locomotives. — En ce qui concerne les locomotives, les différentes compagnies de chemins de fer se sont contentées de grouper leurs machines en séries contenant les appareils de même type, et ont fait préparer des tableaux donnant immédiatement le nombre de tonnes que ces locomotives peuvent remorquer dans différentes conditions.

La compagnie des chemins de fer du Nord français est la seule qui ait adopté, pour ses locomotives à marchandises seulement, une unité qui permet de compa-

rer entre elles les différentes machines de son réseau. Encore cette unité suppose-t-elle une rampe de 5 millimètres par mètre, et admet-elle que les wagons à marchandises sont chargés du poids moyen de 5 tonnes.

M. Abt, ingénieur à Lucerne, s'est occupé de cette question qui présente de grandes difficultés, tant au point de vue des conditions d'adhérence, qu'en ce qui concerne le travail dépensé par la machine pour se remorquer elle-même.

Le système proposé par M. Abt a été discuté, en 1883, dans une réunion des ingénieurs mécaniciens de Berlin, et se trouve résumé dans dans deux publications : l'une du journal *Die Eisenbahn*, n°s 26 et 27, année 1880, et l'autre du journal *Glasers Annalen für Gewerbe und Bauwesen*, novembre 1883, n°s 153 et suivants.

Après avoir résumé, dans les pages qui précèdent, l'état actuel de la question, nous appelons l'attention du congrès sur les points suivants :

1° Le cheval-vapeur, tel qu'il est compris maintenant, c'est-à-dire représentant le travail de 75 kilogrammètres par seconde, constitue-t-il la meilleure unité que l'on puisse adopter, avec quelques chances d'en répandre l'usage dans les différentes parties du monde ?

2° La puissancee des machines à vapeur paraît-elle mieux définie en l'exprimant en chevaux indiqués, leur détermination devant nécessiter l'emploi d'instruments spéciaux, mais d'un usage courant ?

3° Le travail mesuré au frein, sur l'arbre de la machine, doit-il être mentionné comme renseignement complémentaire ou doit-il remplacer, dans les transactions, l'évaluation en travail indiqué ?

4° Y aurait-il-il intérêt à adopter la même unité, le cheval-vapeur, en ce qui concerne les machines de locomotion, machines marines et locomotives ?

Nous ne pensons pas que, pour ces dernières, le moment soit venu d'aborder cette question complexe, pour les raisons que nous avons indiquées. Le problème doit être restreint, suivant nous, aux machines de terre et aux machines marines, en exceptant, pour l'instant, les machines locomotives pour lesquelles une classification présentant quelque analogie avec celle que nous proposons, présentera de longtemps encore de grosses difficultés d'application.

Tels sont les points principaux qni sont soumis à vos délibérations, et au sujet desquels nous désirons avoir l'avis du plus grand nombre de nos collègues.

Chaudières. — La division bien établie maintenant entre les machines et les chaudières ne permet plus d'exprimer les dimensions des générateurs en chevaux-vapeur, expression d'ailleurs toujours incorrecte, puisque la chaudière, par elle-même, ne peut servir à la production du travail mécanique et que ce n'est que par l'adjonction d'nn moteur que l'on peut, à ce point de vue, utiliser la vapeur produite.

Il est donc nécessaire de spécifier la puissance des générateurs à vapeur, en adoptant d'autres unités.

La spécification de la puissance des chaudières, au moyen d'une seule expression, présente beaucoup plus de difficultés qu'en ce qui concerne la désignation de la puissance des moteurs à vapeur.

La surface de chauffe d'une chaudière serait certainement le meilleur moyen de les désigner, s'il n'était pas nécessaire de faire une distinction entre la surface de chauffe directe et la surface de chauffe indirecte, et si la surface de chauffe était utilisée de la même manière dans les types très divers de chaudières adoptés maintenant.

La surface de grille pourrait, dans certains cas, donner un renseignement complémentaire et le mieux serait certainement d'adopter ces indications doubles, au point de vue de la spécification des générateurs de vapeur.

La production de vapeur par mètre carré de surface de chauffe, ou par kilogramme de combustible brûlé sur la grille, pourrait utilement servir à spécifier la puissance des chaudières, s'il n'y avait pas lieu de craindre de graves contestations, au sujet de la quantité d'eau entraînée par la vapeur et mélangée avec elle, et qui viendrait influer, dans une certaine mesure, sur la détermination de la quantité d'eau vaporisée.

Le timbre de la chaudière serait encore une indication utile ; mais les constructeurs sont évidemment obligés de suivre, à ce point de vue, les règlements en vigueur dans les différents pays.

Nous pouvons ajouter, en terminant, qu'en ce qui concerne la construction française, la substitution de la pression exprimée en kilogrammes par centimètre carré à la pression exprimée en atmosphères a réalisé un progrès important.

Nous nous permettons donc d'appeler l'attention des ingénieurs sur les meilleurs moyens qu'il y aurait lieu d'adopter pour spécifier la puissance d'un générateur de vapeur, et nous espérons qu'un grand nombre des membres adhérents au Congrès de mécanique appliquée, voudront bien nous apporter leur avis sur ces points soumis à leur appréciation.

Il y a lieu, en effet, de rendre ces indications aussi comparables que possible, dans les différents pays où l'industrie mécanique s'est développée et se développe encore tous les jours. Les relations internationales y gagneraient certainement, et nous émettons le vœu, en terminant, que ces questions reçoivent à l'avenir des solutions satisfaisant complètement les intérêts des constructeurs mécaniciens.

CINQUIÈME QUESTION

Machines à vapeur à détente en cylindres successifs.

RAPPORT DE M. A. MALLET.

Exposé

Les machines où la vapeur travaille successivement dans plusieurs cylindres, machines dont l'emploi est devenu si général, se divisent en deux grandes catégories : les machines *à transvasement immédiat* et les machines *à réservoir*. Cette distinction, basée sur le mode de distribution de la vapeur, est plus rigoureuse que celle qu'on emploie souvent de machines *à points morts concordants* et machines *à points morts discordants*, établie d'après le mouvement relatif des pistons, indication qui n'est qu'apparente et peut induire en erreur.

La machine à transvasement immédiat est généralement connue sous le nom de *machine de Woolf*, c'est la plus ancienne.

La machine à réservoir est plus récente, bien qu'elle ait déjà une ancienneté respectable, contrairement à l'opinion générale ; on la désigne communément sous le nom de *machine compound*, expression qui devrait logiquement s'appliquer à toute machine à détente en cylindres successifs.

Etant donnée l'importance de la question, il n'est pas inutile de présenter un historique rapide de la naissance et du développement des deux groupes de machines dont nous nous occupons.

I. — *Aperçu historique*

Machine Woolf. — La première idée de la machine à deux cylindres est incontestablement due à Jonathan Hornblower, qui patenta ce système à la date du 5 novembre 1781 sous le numéro 1298.

Quelques auteurs ont revendiqué pour Watt l'invention de la machine à deux cylindres en se basant sur un point de la patente du 3 juillet 1782, n° 1321, de l'illustre mécanicien. Ce point qui porte le n° 3 a pour objet une machine *compound* ou double ; la description en est extrêmement confuse et le dessin qui

l'accompagne est peu intelligible. Ceci n'a rien d'étonnant, car on sait que les contemporains de Watt, notamment Bramah, lui ont souvent reproché l'obscurité, probablement voulue, de ses spécifications qui, à leur avis, constituaient bien moins la description des idées de l'inventeur que des barrières savamment disposées par lui pour enclore à son profit exclusif le domaine de la machine à vapeur.

Il est difficile de dégager la manière dont la détente devait se produire dans la machine compound de Watt, mais tout semble indiquer que cette machine n'était point la machine à deux cylindres telle que nous la comprenons.

Quoi qu'il en soit, le fait qu'Hornblower a appliqué son système, ce que Watt n'a jamais fait pour celui que nous venons d'indiquer, et l'antériorité de date indiscutable qui existe en faveur du premier ne permettent pas d'hésiter à attribuer à Jonathan Hornblower l'invention de la machine à deux cylindres. Mais en revanche, chose curieuse, on peut attribuer à Watt le premier emploi du mot de *machine compound*, bien qu'il l'ait proposé dans un sens différent de celui pour lequel on applique généralement aujourd'hui cette expression.

Comme on sait, Hornblower ne retira aucun profit de sa découverte. Il ne pouvait appliquer sa machine sans le condenseur et la pompe à air patentés par Watt ; il fut donc en butte à des imputations de plagiat et à de véritables persécutions qui allèrent jusqu'à l'emprisonnement. Les amis de Watt le poursuivirent de la manière la plus odieuse et parvinrent à noircir sa réputation. Une réaction s'est faite depuis longtemps et la postérité, plus juste que ses contemporains, réserve à Jonathan Hornblower une place dans l'histoire de la machine à vapeur à côté de celle du grand James Watt.

La machine d'Hornblower, qui reçut quelques applications dans les Cornouailles, ne pouvait donner des résultats économiques bien importants avec les pressions à peine supérieures à la pression atmosphérique en usage alors. Lorsque Trewithick, à la grande horreur de Watt, eut commencé à familiariser les esprits avec l'emploi de pressions plus élevées, Arthur Woolf eut l'idée heureuse d'appliquer ces pressions à la machine d'Hornblower, en la mettant à double effet.

Woolf réalisa dès 1806 ses dispositions sur une machine établie dans la brasserie de Meux à Londres, dont il était ingénieur, puis sur une machine dans la distillerie de Reid. En 1813, il introduisit la machine à deux cylindres dans les Cornouailles.

Les bons résultats obtenus avec ces machines, et que quelques auteurs attribuent en grande partie à leur exécution très soignée amena une extension assez rapide de l'emploi de ce système, extension qui fut néanmoins suivie d'une réaction sensible lorsque les ingénieurs des Cornouailles se furent attachés à appliquer aux machines à un seul cylindre les perfectionnements qui ont rendu célèbre le type auquel on a donné ce nom.

Il n'est pas sans intérêt d'indiquer que, dès 1805, c'est-à-dire peu de

temps après la patente de Woolf (1804), Willis Earle proposait une machine à deux cylindres, un grand et un petit, superposés avec tige commune pour les deux pistons, disposition qui, reproduite plus tard par Sims, est le point de départ du type assez employé actuellement et connu sous le nom de machine *tandem*.

La machine de Woolf se répandit rapidement ; dès 1815, à la paix, Edwards père, qui vint à Paris et fut bientôt l'associé de la célèbre maison Perrier de Chaillot, introduisit ce modèle de machine en France où il devint pour ainsi dire classique.

On peut faire remarquer à ce sujet que les machines à deux cylindres ont toujours été beaucoup plus employées comme machines fixes en France qu'en Angleterre.

La machine de Woolf paraît avoir été appliquée à la navigation, dès 1825, par Allaire de New-York, puis également aux Etats-Unis, mais plus tard, par Erastus Smith ; les machines du premier, établies d'abord sur les bateaux *Sun*, *Henry Eckford*, *Commerce* et *Swiftsure*, avaient un cylindre à chaque extrémité du balancier, les autres avaient les cylindres concentriques, l'un dans l'autre, disposition reproduite depuis, bien que rarement, et dont l'idée première paraît due à un nommé William Gilman.

En Europe où on hésitait, au contraire des Etats-Unis, à se servir pour les bateaux de machines à manivelle unique, et où la machine Woolf aurait entraîné une complication inévitable, son emploi paraît avoir été très exceptionnel jusqu'en 1854 où les constructeurs anglais Randolph et Elder l'appliquèrent au navire à hélice le *Brandon*, avec des cylindres accolés dont les pistons actionnaient des manivelles calées à 180 degrés l'une de l'autre. Le succès du *Brandon* détermina l'application du même système en 1856 aux machines du *Valparaiso* et de l'*Inca* appartenant à la compagnie de navigation du Pacifique, entreprise pour laquelle la réduction de la dépense de charbon avait un intérêt énorme.

La transformation s'étendit ensuite à la flotte entière de la compagnie et fut le point de départ de l'application générale des machines à deux cylindres dans la marine. Il est à remarquer que ces premières applications eurent lieu avec des pressions de vapeur non supérieures aux pressions ordinaires de l'époque ; ce n'est que lorsqu'on se fût familiarisé avec l'emploi de pressions plus élevées, que la construction des chaudières eût été perfectionnée et qu'enfin l'usage du condenseur à surface fût devenu pratique, que les constructeurs abordèrent l'emploi des hautes pressions qui amena les résultats extraordinaires obtenus depuis quelques années. Le condenseur à surface a joué parallèlement à la machine à deux cylindres un rôle aussi important, et ces deux grands progrès se sont complétés mutuellement.

Peu après Randolph et Elder, d'autres constructeurs anglais, Humphrys et

Tennant, Rowan et Horton, ont construit des machines de Woolf sous des formes différentes et avec beaucoup moins de succès, pour des questions de détail notamment. A partir de ce moment l'histoire de la machine Woolf se confond avec celle de la machine compound que nous allons examiner rapidement.

Machine compound. — La première indication relative à la machine à réservoir est dans une patente de 1826 au nom de Joseph Eve pour une machine *compound*, le mot s'y trouve, dans laquelle la vapeur agissait d'abord dans une machine rotative à haute pression, et ensuite dans une machine à basse pression également rotative où elle se détendait. On ne trouve rien sur ce sujet jusqu'en 1834 où nous avons à enregistrer un fait capital dans l'histoire de la machine compound.

Le 22 février 1834, fut déposée à Mulhouse par la maison André Kœchlin et Cie une demande de brevet d'importation de dix ans pour une *machine expansive à cylindres indépendants et combinés.* Le 24 octobre de la même année, une demande de patente fut faite en Angleterre par un nommé Ernst Wolff, à titre de communication d'un étranger, pour la même invention.

Dans ces brevets, l'inventeur, après avoir insisté sur les inconvénients de la machine de Woolf et sa complication pour les usages qui exigent deux machines avec manivelles à 90 degrés, revendique la combinaison des machines complètes recevant successivement chacune la vapeur de la précédente et agissant sur le même arbre ou sur des arbres différents reliés ou non ensemble. Il indique la présence d'un réservoir intermédiaire, placé au besoin à la base de la cheminée pour recueillir la chaleur perdue des gaz, la mise en train au départ par l'envoi de vapeur vive au réservoir intermédiaire, la transformation des machines existantes par le remplacement d'un des cylindres, etc. Le dessin annexé représente le système compound, tel que nous le connaissons aujourd'hui, appliqué à une machine de bateau à balanciers (1).

Les brevets dont il vient d'être question comprennent absolument tout ce qui concerne la machine compound actuelle et sont évidemment rédigés par la main d'un homme du métier. Il n'y manque que le nom de l'auteur qui n'est mentionné dans aucune des pièces y relatives. Des recherches faites dans les archives de la Société alsacienne de construction mécanique qui a succédé à la maison André Kœchlin n'ont produit aucun résultat.

Lors de nos investigations, nous reçûmes de M. Tideman, ingénieur en chef de la marine néerlandaise à Amsterdam, communication de précieux renseignements sur un certain nombre de machines à haute et basse pression construites antérieurement à 1844 dans les ateliers de Feyenoord, près Rotterdam.

Le premier des navires faisant l'objet des renseignements de M. Tideman était

1. Voir *Mémoires et Comptes rendus* de travaux de la société des ingénieurs civils, 4me trimestre de 1873. p. 823.

le *James Watt*, bateau à roues, dont la machine à haute pression à deux cylindres de $0^m,507$ de diamètre fut modifiée par le remplacement d'un des cylindres par un de $1^m,370$ et par l'addition d'un condenseur ; le bateau reçut alors le nom de *Stad Keulen* (*Ville-de-Cologne*). Cette modification date de 1829.

La même année la machine à deux cylindres de $0^m,532$ de diamètre du vapeur *Aggripina* reçut un troisième cylindre de $1^m,370$ de diamètre prenant la vapeur à un réservoir où évacuaient les deux autres cylindres ; cette machine fut mise dans un autre bateau qui reçut le nom d'*Hercule*. La liste comprend encore seize autres navires dont plusieurs pour les compagnies de navigation du Danube et de l'Elbe (1).

Le rapprochement de ces faits et de leur date avec les patentes prises sous les noms de Wolff et André Kœchlin pour le compte d'un tiers, et des indications que nous avons trouvées dans un mémoire sur les machines compound de M. Schrœter, professeur à l'Ecole polytechnique de Munich, permettent de conclure que l'inventeur de ce genre de machine n'était autre que le constructeur hollandais Roëntgen, fondateur de l'usine de Feyenoord (2).

L'invention dont il s'agit n'eut que peu de notoriété, mais elle ne doit pas être restée complètement inconnue, car, d'une part, tant en France qu'en Angleterre, on retrouve une série de brevets postérieurs à 1834 et relatifs à des modifications à des organes de ce type de machines tels que les réservoirs intermédiaires, ce qui porte à croire que le principe de ce genre de moteurs était connu ; d'autre part il fut construit des machines dans ce système par d'autres constructeurs ; nous pouvons citer les appareils moteurs des bateaux l'*Union* et le *Corsaire noir* naviguant sur la Garonne avant 1840, des machines faites, pour des bateaux du Rhin, à l'usine allemande de Sterkerade en 1848 et d'autres encore.

Ce ne fut toutefois que lorsqu'on se fût familiarisé avec l'emploi des machines à deux cylindres mises en faveur par les applications heureuses de Randolph et Elder qu'on revint à la forme si simple inaugurée par Roëntgen. En France, Benjamin Normand, par sa première application sur le *Furet* en 1860 et par un grand nombre d'autres ultérieures, détermina le courant qui conduisit

1. La liste de ces navires avec les dimensions principales des machines a été donnée dans la *Revue industrielle* du 12 mars 1879.

2. Postérieurement à la lecture de ce rapport, l'auteur a pu voir dans le tome 9, année 1836, des bulletins de la Société Industrielle de Mulhouse, un mémoire de M. Emile Koechlin sur les machines à vapeur, où est signalée l'existence, dans une filature de Vieux-Thann, d'une machine de 16 chevaux, du système inventé par M. Roëntgen, de Rotterdam, et breveté en France par MM. André Koechlin et Cie, machine construite par ces derniers. Il est donné des détails et diverses appréciations sur cette machine. On la trouve également mentionnée dans le troisième volume des leçons de Mécanique appliquée de Morin, page 167, (1846).

Il ne peut donc subsister aucun doute sur les titres de Roëntgen à l'invention de la machine à deux cylindres à réservoir, ou machine compound.

à l'adoption définitive de ce genre de machine pour la navigation. Le rôle de B. Normand a été très important dans cette question et son nom occupera à juste titre une place considérable dans l'histoire de la machine compound. D'autre part peu après, la maison Escher Wyss de Zurich, qui, depuis 1859, construisait des machines Woolf pour bateaux, ne tarda pas à adopter le type de machine à réservoir et à le répandre sur les lacs de Suisse et d'Italie où on ne voit plus depuis bien longtemps que des machines de ce genre ; elle eut l'honneur d'exposer en 1867 à Paris la première machine de bateau à deux cylindres de ce type qui eut paru à une exposition.

Chose singulière, les Anglais furent les derniers à se rallier à ce modèle ; ce n'est guère qu'après avoir épuisé une foule de dispositions plus ou moins compliquées et bâtardes qu'ils en vinrent franchement au type si simple de la machine compound à deux cylindres accolés, qui a été pendant quinze ans le moteur classique de la marine. Aujourd'hui pour cette application et pour certaines autres au moins, la machine compound ordinaire paraît devoir être remplacée par la machine à triple expansion dont nous dirons quelques mots en terminant.

II. — *Considérations sur les machines à deux cylindres*

Dans la machine que nous avons appelée *à transvasement*, les pistons marchent ensemble, comme dans la machine de Woolf, ou en sens opposé, comme dans certaines machines plus récentes, celles par exemple de Randolph et Elder, dont il a été question plus haut ; dans ces dernières, le transvasement est pour ainsi dire absolu, car les espaces intermédiaires peuvent être presque entièrement annulés.

Dans les machines à transvasement, le premier cylindre reçoit la vapeur de la chaudière pendant tout ou partie de la course ; à la fin de celle-ci, la communication est ouverte entre les cylindres et la détente se produit entre les deux pistons par différence de volume. Un raisonnement très simple fait voir qu'on peut disposer, pour obtenir une expansion déterminée, de deux facteurs, le volume relatif des deux cylindres et l'introduction au premier cylindre. Le premier facteur ne peut, bien entendu, servir que pour l'étude du projet, mais le second est employé pour faire varier la puissance de la machine une fois exécutée. Autrefois, on donnait de grandes introductions au premier cylindre et des rapports de 4 à 5 entre les volumes, ce qui permettait une expansion totale de 5 à 6 volumes ; depuis, avec des pressions plus élevées, on a mis des distributeurs à détente sur le premier cylindre, ce qui, avec la réduction de l'admission à la moitié ou au tiers à ce cylindre, porte l'expansion totale à 10 ou 15 volumes.

Le point capital de la théorie des machines à deux cylindres est le suivant : le travail total de la vapeur n'y dépend pas du volume du petit cylindre ; il ne

dépend que du volume de vapeur introduit dans ce cylindre, du volume du grand cylindre et de la pression de la vapeur. Le travail est donc le même que si le volume de vapeur introduit dans le petit cylindre était introduit directement dans le grand cylindre et détendu jusqu'à la fin de la course. Ce travail sera donc le travail d'une machine à un seul cylindre de volume égal à celui du grand cylindre.

C'est ce qui a porté tant de personnes à conclure que, le petit cylindre étant pour ainsi dire inutile, il n'y avait aucune raison de le conserver puisqu'il rend la machine plus compliquée, plus lourde et plus coûteuse.

On verra plus loin quelles sont les raisons qui militent en faveur de la présence de ce premier cylindre.

Il est bon de faire observer ici que, dans la machine à transvasement, si la communication reste ouverte entre les deux cylindres pendant toute la course, la pression tombera à la fin au premier cylindre à la pression finale au grand ; il y aura donc une différence des pressions et des températures extrêmes assez grande. Si, au contraire, on coupe la communication entre les deux cylindres avant la fin de la course, il se produira, d'une part, une détente propre de la vapeur dans le grand cylindre et, de l'autre, une compression de la vapeur restée dans le petit. La chute de température sera réduite à ce cylindre, et, de ce chef et de celui de la compression, les conditions de fonctionnement se trouveront améliorées.

On voit immédiatement que, la pression totale étant divisée entre deux capacités, chaque piston a bien moins de charge maximum à supporter que dans la machine ordinaire, où le piston de même section que le grand piston a à supporter la différence totale entre la pression à la chaudière et la pression à l'échappement. De même, la variation totale des efforts est moins considérable que dans la machine ordinaire ; les organes, pour une même pression moyenne effective, c'est-à-dire pour le même travail, ont à subir une pression maximum moins élevée. C'est cette considération qui a été la première et longtemps la seule à faire employer les machine à deux cylindres ; les avantages de ces machines au point de vue thermique, soupçonnés seulement d'abord, n'ont été mis en lumière que plus tard.

Dans la machine à réservoir, les choses se passent un peu différemment. C'est en réalité plutôt un système composé de deux machines successives et étagées dont la première reçoit la vapeur de la chaudière et la décharge dans un réservoir intermédiaire qui alimente la seconde. Chaque machine a dès lors sa distribution propre. Si on appelle P la pression à la chaudière, P' la pression au réservoir intermédiaire, et que, pour plus de simplicité, la pression à l'échappement soit nulle, on comprend aisément que, pour que le travail soit maximum et pour qu'il n'y ait pas de chute de pression entre les cylindres, il faudrait que la

pression au réservoir fût la pression finale au petit cylindre à la fin de sa course; si $\frac{1}{n}$ est la fraction d'introduction au premier cylindre, on a $P' = \frac{P}{n}$; d'autre part, le grand cylindre devant contenir à la pression P' ou à une pression aussi voisine que possible, dans sa période d'admission $\frac{1}{m}$, la vapeur sortant du petit cylindre, on doit avoir nécessairement $\frac{V}{m} = v$ ou $m = \frac{V}{v}$, ce qui indique immédiatement que, pour qu'il n'y ait pas de chute de pression entre les cylindres, l'admission au grand doit être égale au rapport de volumes des deux cylindres. On voit de suite que, si ce rapport est élevé, on sera conduit à avoir au grand cylindre des admissions assez faibles. Pour éviter cet inconvénient, on modère en général le rapport des volumes des cylindres et on le prend toujours plus faible que dans les machines à transvasement ; il atteint rarement 4. La condition que nous venons d'indiquer ne peut pas toujours être réalisée en pratique. La suppression absolue de la chute de pression conduirait à une répartition très inégale du travail entre les deux cylindres et on est généralement conduit à accepter une certaine chute de pression qui amène une perte de travail, bien moins considérable d'ailleurs qu'on ne le croit.

On a vu que, dans la machine dont nous nous occupons, la différence des pressíons est moindre que dans la machine précédente ; au premier cylindre, elle est P — P' et P' au second ; il en est de même de la différence des températures correspondantes ; c'est un avantage réel sur la machine de Woolf qui compense et au delà la légère infériorité qu'on peut admettre relativement à la manière dont se fait le passage de la vapeur d'un cylindre à l'autre.

Pour bien comprendre les raisons invoquées en faveur de la supériorité des machines à deux cylindres sur les machines où la détente s'effectue dans un seul, il est nécessaire d'examiner d'abord les difficultés qu'entraîne cette dernière opération. Voici comment on peut les classer.

1° On invoque souvent l'influence des espaces neutres. Or si la perte produite par la présence des espaces neutres est absolue dans une machine qui fonctionnerait sans détente, cette perte est très réduite dans les machines à détente, puisque la vapeur qui s'y trouve travaille aussi bien par expansion que le reste; d'ailleurs on peut, dans une certaine mesure, réduire l'influence des espaces neutres par la compression. Le mauvais effet de ces espaces est, en réalité, d'abord de réduire l'expansion effective et, par conséquent, pour une expansion donnée, d'exiger une admission plus faible qu'il serait nécessaire sans espaces neutres. D'autre part, un inconvénient plus grand encore de ces espaces est l'augmentation des surfaces de contact avec la vapeur qu'ils amènent ; on verra plus loin les effets de ces surfaces ; dans un cylindre de locomotive, l'espace neutre représente 15 à 20 % de la surface totale en contact avec la vapeur.

On a imaginé beaucoup de dispositions pour réduire les espaces neutres au

minimum possible, toutes basées sur l'emploi de quatre distributeurs plans, cylindriques ou à soupapes ;

2° L'emploi d'admissions très réduites exige celui de distributeurs spéciaux déja justifié d'ailleurs par la considération précédente. La solution est efficace, on ne peut lui reprocher que la complication inévitable qu'elle entraîne, complication qui a contribué notablement à faire accepter de préférence la machine à deux cylindres pour beaucoup d'applications ;

3° Avec de faibles admissions, la variation de l'effort sur le piston est très considérable. Les conséquences de cette variation sont graves et nombreuses. L'irrégularité de l'effort nécessite l'augmentation de poids du volant ou l'emploi de machines accouplées. L'exagération de l'effort initial par rapport à l'effort moyen rend médiocre ce qu'on appelle l'utilisation des organes, et enfin le fait qu'une portion notable de l'effort de la vapeur s'effectue sur le piston dans une position où il transmet difficilement cet effort à l'arbre moteur contribue à réduire le rendement organique de la machine. Ce point a été mis en lumière d'une manière remarquable par des expériences récentes faites aux Etats-Unis. Il n'y a que l'emploi de la machine à deux cylindres qui puisse remédier à cette difficulté. Nous avons déjà indiqué que la variation des efforts y est réduite et le fait qu'une expansion totale considérable peut être obtenue avec des introductions assez grandes à chaque cylindre explique comment l'effort se produit sur les pistons dans des conditions beaucoup plus favorables à la transmission de cet effort à l'arbre que dans la machine à un seul cylindre ;

4° Dans la machine à un seul cylindre, la différence considérable des pressions rend les fuites plus graves que dans les machines à deux cylindres ; aussi, a-t-on remarqué dans ces dernières, une résistance remarquable à l'usure. On voit de vieilles machines de Woolf fonctionner dans un état dont ne s'accomoderaient pas des machines ordinaires ;

5° L'objection la plus sérieuse à l'emploi de grandes détentes, dans un même cylindre, est basée sur des considérations thermiques. La grande variation des pressions dans un même récipient entraîne une différence considérable des températures extrêmes et les conséquences en sont des plus graves.

L'effet pernicieux de cette chute de température constitue le point capital de la théorie exacte de la machine à vapeur.

Les faits sur lesquels elle repose ont été indiqués pour la première fois par Combes et Thomas.

Le 3 avril 1843, en effet, Combes présentait à l'Académie des sciences une note sur les machines à vapeur, laquelle contenait, basée sur des expériences à l'indicateur effectuées par Thomas, le point de départ de la théorie actuelle des machines à vapeur, laquelle peut se résumer comme suit :

Dans les machines (sans enveloppes de vapeur), une partie de la vapeur admise au cylindre se liquéfie immédiatement par l'action refroidissante des parois du

cylindre dont la capacité était quelques instants avant en communication avec le condenseur ; il se forme dans le cylindre de l'eau liquide aux dépens de la vapeur admise, indépendamment de celle qui peut avoir été entraînée de la chaudière. Cette eau liquéfiée se vaporise de nouveau pendant la détente, de sorte que de nouvelles quantités de vapeur s'ajoutent pendant cette détente à la vapeur déjà existante ; ce qui fait que les tensions diminuent moins rapidement que suivant la loi inverse des volumes.

Ce dernier fait est indiqué par la surélévation de la courbe des diagrammes, caractéristique de ce phénomène. Si toute l'eau était vaporisée à la fin de la course, il n'y aurait que demi mal, car la vapeur aurait travaillé, bien que dans des conditions moins avantageuses, mais généralement il reste encore de l'eau à la fin de la course et cette eau se vaporise pendant l'échappement, toujours aux dépens de la chaleur des parois en emportant au dehors du calorique en pure perte, tout comme le ferait une fuite de vapeur. Les parois mises en équilibre de température avec la vapeur qui s'échappe se trouvent ainsi disposées à condenser de nouveau la vapeur arrivant de la chaudière pendant la période d'admission.

Ces faits ont été peu après mis en lumière par D. K. Clark en Angleterre et ensuite par Isherwood en Amérique. Ils ont été complètement élucidés et mis hors de toute contestation par les beaux travaux de Hirn, Leloutre et Hallauer.

On avait remarqué depuis longtemps que la consommation de vapeur des machines fonctionnant à des expansions notables dans un seul cylindre ne correspondait nullement à la quantité de vapeur introduite en apparence au cylindre.

Dans certaines machines, on avait d'autant plus de peine à maintenir la pression à la chaudière et le vide au condenseur que la machine fonctionnait à plus grande détente. Clark avait signalé ce fait sous une forme humoristique, intelligible seulement en anglais « *expansive* working is *expensive* working ». Cet effet est dû à ce qu'une partie seulement de la vapeur qui passe dans la machine est *sensible* à l'indicateur et qu'un supplément qui peut aller à 50 et 60 % de la quantité fournie par la chaudière passe à travers le cylindre sans laisser de traces autres que le prix du combustible qui a servi à le produire.

La perte due à l'intervention calorifique des parois des cylindres a passé inaperçue longtemps, malgré les indications de Combes et bien que Thomas l'ait introduite avant 1850 dans son enseignement à l'École centrale. La thermodynamique, raisonnant sur des machines immatérielles, et prenant pour point de départ un adiabatisme irréalisable en pratique, n'enseignait qu'une chose, la condensation par le travail pendant la détente ; elle a contribué longtemps à entretenir les idées les plus inexactes sur le fonctionnement des machines à vapeur et les causes de perte qui en réduisent le rendement économique.

Il y a heureusement plusieurs moyens, au moins en théorie, pour atténuer la perte de chaleur due à l'échauffement et au refroidissement alternatifs des pa-

rois du cylindre. Ces phénomènes peuvent être considérés comme proportionnels à un certain nombre de facteurs, tels que la conductibilité et la capacité calorifique du métal, la chute de température, l'étendue des surfaces en contact et la durée de ce contact.

On a proposé d'employer pour les parois des matières de conductibilité et capacité calorifiques moindres que celles de la fonte, par exemple, la porcelaine, le verre ou le plomb.

Monsieur Émery a mis en évidence l'influence des parois au point de vue qui nous occupe par ses curieuses expériences sur des machines à cylindres revêtus de verre.

La machine à deux cylindres agit pour la réduction des condensations initiales par la diminution de la chute de température, comme on le verra plus loin.

On peut également atténuer, sinon cette condensation même, du moins ses effets pernicieux, pour la fourniture aux parois de chaleur empruntée à une autre source qu'à la vapeur arrivant dans le cylindre. C'est ce qu'on fait en chauffant les parois par l'extérieur au moyen de l'enveloppe de vapeur.

L'enveloppe est due à Watt qui, sans se rendre bien compte du rôle de cette addition, avait l'intuition de la nécessité de maintenir chaud le cylindre. Les élèves et successeurs du grand inventeur conservèrent l'enveloppe jusqu'à ce que les gens se croyant plus avisés, dont Tredgold, émirent l'idée que l'enveloppe ayant plus de surface de rayonnement que le cylindre qu'elle était appelée à protéger, son emploi était un non-sens. Il y eut donc une réaction contre l'enveloppe ; néanmoins certains constructeurs, tels que ceux des machines de Woolf la conservèrent toujours avec une conviction basée sur les indications de la pratique.

Aujourd'hui on apprécie le véritable rôle de l'enveloppe qui est un moyen réellement efficace de réduire la perte de calorique causée par l'action des parois. Sans cet appendice, il serait absolument impossible de réaliser de grandes détentes dans un même cylindre, et on peut dire que c'est l'enveloppe qui seule a permis le succès des machines des types Corliss et autres à cylindres uniques.

On avait, dès les premiers temps de la machine à vapeur, entrevu vaguement l'utilité de maintenir chauds les cylindres, et on essaya, à plusieurs reprises, dans les Cornouailles, de chauffer directement le cylindre par un foyer spécial.

Nous nous rappelons avoir lu, sans pouvoir préciser où, que Woolf avait constaté qu'un boisseau de charbon brûlé directement sous le cylindre produisait autant d'effet qu'un certain nombre de boisseaux brûlés sous la chaudière.

Vers 1875, M. Dixwell, ingénieur américain, proposa de porter, par un chauffage extérieur, les cylindres à une température où il y eut répulsion entre le métal et l'eau (200 degrés centigrades suffisaient d'après lui) et où la condensation initiale intérieure ne put pas se produire. Tout récemment, M. Bryan Donkin a obtenu des résultats très remarquables en chauffant extérieurement le cylindre

d'une machine à vapeur par des becs de gaz. Rappelons à ce sujet, que M. D. K. Clark avait, dans ses recherches expérimentales sur les locomotives, signalé la différence, au point de vue de la condensation intérieure, qui existait entre les machines à cylindres extérieurs et celles à cylindres logés dans la boîte à fumée, comme on le faisait généralement à cette époque et maintenus ainsi plus chauds.

Nous ne ferons que mentionner l'emploi de la vapeur surchauffée qui rentre dans le même ordre d'idées, comme apportant un supplément de calorique. On a employé la surchauffe sur une très grande échelle, surtout à la mer, et, malgré le puissant patronage de M. Hirn, on y a absolument renoncé partout pour des considérations pratiques.

Il nous reste à indiquer comment la détente en cylindres successifs agit très efficacement pour réduire, dans une large mesure, les pertes de chaleur résultant des chutes de température aux cylindres.

Dans le premier cylindre d'une machine compound, il se produit une condensation à l'admission, mais, d'une part, cette condensation est très réduite par rapport à ce qu'elle serait dans le cylindre unique d'une machine ordinaire, puisqu'elle n'est proportionnelle qu'à la chute de température entre 150 et 110 degrés, par exemple, au lieu de l'être à une chute de 150 à 60 ; et d'autre part, la vapeur en quantité réduite, fournie par la revaporisation, travaille en totalité soit dans le premier cylindre pendant la détente, soit dans le second pendant l'échappement du premier.

La perte est donc relativement faible au premier cylindre.

Au grand cylindre, la chute de température est également considérablement réduite, et si la vapeur qui se reforme pendant l'échappement porte son calorique à l'extérieur, elle provient de vapeur qui a déjà travaillé au premier cylindre.

On voit bien que la chute de température est modérée dans chaque cylindre, mais on est quelquefois porté à supposer que les plus grandes dimensions du second cylindre peuvent compenser l'avantage qui en résulte. Il n'en est rien, comme on peut le voir par un raisonnement très simple.

On doit admettre que, toutes choses égales d'ailleurs, la condensation initiale et la revaporisation ultérieure sont proportionnelles à un facteur qui est le produit de la chute de température dans chaque cylindre par la surface en contact avec la vapeur dans ce cylindre.

Supposons une machine à vapeur ordinaire à un seul cylindre, la surface de contact composée de la paroi cylindrique et de deux cercles, l'un pour le fond, l'autre pour le piston étant S et la chute de température τ, le facteur de refroidissement sera $S\tau$. Pour la machine à deux cylindres de même puissance, le grand cylindre étant égal au cylindre unique de la machine ordinaire, la surface sera la même et la chute sera moindre, nous la supposerons pour plus de simplicité égale à $\frac{\tau}{2}$, le facteur de refroidissement sera donc $S\frac{\tau}{2}$ pour le grand cylindre. Pour

le petit, la chute sera encore $\frac{\tau}{2}$ et la surface sera toujours moindre de S, elle variera de 0,5S pour un rapport de volume de 3 à 0,6S pour un rapport de 2, dans ce dernier cas, le moins favorable, on aura $(S+0,6S)\frac{\tau}{2} = 0,8S\tau$ au lieu de $S\tau$, la réduction du facteur de refroidissement sera de 20 %. Dans le cas où on comparerait une machine ordinaire à deux cylindres accouplés avec une machine compound, ayant un cylindre semblable aux précédents et un cylindre de volume double, la réduction du facteur de refroidissement atteindrait 35 %.

Nous nous empressons d'ajouter que cette diminution de la valeur de ce que nous venons d'appeler le facteur de refroidissement ne donne en aucune manière la mesure de l'économie de vapeur de la machine.

Nous ne saurions terminer l'exposé des principes sur lesquels reposent les avantages des machines à deux cylindres sans indiquer deux points importants.

L'efficacité d'une machine de ce genre, lorsqu'elle appartient à la catégorie dite à réservoir, dépend en grande partie de la bonne distribution de la vapeur et cela dans une bien plus grande mesure que pour une machine ordinaire. Toute la vapeur qui entre au premier cylindre doit travailler ensuite dans le second, mais elle peut y travailler dans des conditions plus ou moins favorables suivant le degré d'introduction, lequel influe sur la pression maxima dans ce récipient. On peut faire varier dans des limites assez étendues le travail total d'une machine compound pour le même poids de vapeur admis au premier cylindre suivant la période d'introduction au second cylindre, ce qui est loin de se produire au même degré pour les machines à transvasement. Nous ne croyons pas toutefois qu'à l'époque actuelle, la nécessité d'être étudié avec soin, pour donner de bons résultats, puisse être invoquée comme une objection sérieuse contre un système de machines.

On a également reproché à la machine à deux cylindres de manquer d'élasticité ; c'est-à-dire de ne pas se prêter à de grandes variations dans le travail à accomplir. Sans discuter le bien-fondé de cette objection au point de vue théorique, on peut répondre que le développement de plus en plus grand de l'application de ces machines aux industries diverses, semble indiquer qu'on ne rencontre pas en pratique de bien grandes difficultés de ce chef, et nous ajouterons que l'emploi récent et heureux qui en a été fait pour la machine à travail variable par excellence, la locomotive, est probablement la meilleure réponse à cette objection.

III. — *Machines à triple expansion.*

L'idée de pousser l'application du principe compound au delà de la conjugaison de deux cylindres seulement n'est pas récente. Perkins, l'apôtre des hautes

pressions, l'avait émise depuis longtemps et elle est exposée de la manière la plus précise dans les patentes attribuées à Roëntgen et dans d'autres.

Il est certain qu'il a été construit en Angleterre, pour des filatures, des machines à triple expansion en 1866 et 1870, mais il est non moins certain que la première application de ce genre de machines à la navigation, où il trouve son emploi le plus important, est due à Benjamin Normand. Sa première machine a été, croyons-nous, celle du *bateau omnibus* n° 30 de la Seine qui, commencée en 1870, n'a pu être, par suite de la guerre, achevée qu'en 1871. Ce n'est qu'en 1872 que fut construite la première machine anglaise à triple expansion, celle du *Propontis*. Ces machines se propagèrent très lentement d'abord, mais, lorsque leurs qualités économiques eurent été mises hors de doute, il y a 7 ou 8 ans, elles se répandirent avec une extrême rapidité et actuellement on ne fait déjà plus guère d'autres machines pour la marine commerciale. On applique également avec succès le même système aux machines fixes, comme on peut en juger par quelques spécimens de construction française et étrangère qui figurent au Champ de Mars.

Un principe incontestable de la thermodynamique indique que le rendement calorifique d'une machine thermique est d'autant plus élevé que la différence entre la température à laquelle le fluide intermédiaire entre dans l'appareil et celle à laquelle il en sort est plus grande, à la condition que la chute de température soit déterminée par le travail de ce fluide.

La température finale ne pouvant être abaissée dans les conditions où fonctionnent nos machines, on ne peut que chercher à élever la température initiale, c'est-à-dire, pour la machine à vapeur, la pression à la chaudière. Avec la machine compound ordinaire, la limite est vite atteinte ; on ne dispose que de deux facteurs pour déterminer l'expansion totale, la détente au premier cylindre et le rapport des volumes des deux cylindres, l'exagération de chacun de ces facteurs entraîne les inconvénients des chutes excessives de pression et de température qu'on constate dans les machines à cylindre unique. On est donc amené forcément à diviser la chute en trois périodes au lieu de deux, et à faire, pour le petit cylindre de la machine compound, ce qu'on a fait précédemment pour le cylindre unique de la machine ordinaire, c'est-à-dire à le décharger de la pression directe et de la température élevée de la vapeur de la chaudière en recevant d'abord celle-ci dans un *avant-premier* cylindre.

Nous n'entrerons dans aucun détail sur la machine à triple expansion dont il nous paraît suffisant d'indiquer le principe.

On a été encore plus loin et on a déjà construit quelques machines à quadruple expansion fonctionnant à des pressions très élevées. Il est évident que l'emploi qui tend à se propager de chaudières formées de petits éléments, chaudières éminemment aptes à supporter de hautes tensions, constitue une circonstance très favorable au développement des machines à cylindres multiples.

Progrès réalisés dans les machines à vapeur depuis 1878

CONFÉRENCE de M. E. POLONCEAU

INGÉNIEUR EN CHEF DU MATÉRIEL ET DE LA TRACTION
DU CHEMIN DE FER D'ORLÉANS

C'est seulement sur la demande réitérée du comité d'organisation du Congrès international de mécanique, et tout spécialement de son savant président, M. Phillips, que j'ai accepté de vous parler des *progrès réalisés dans les machines à vapeur depuis* 1878, car, pour traiter une question aussi vaste, aussi importante, il m'aurait fallu plus de temps et plus de talent que je n'en ai ; mais, grâce à l'extrême obligeance de divers ingénieurs et constructeurs, j'ai pu au moins réunir des renseignements très intéressants, que je vais avoir l'honneur de vous soumettre.

Afin de constater les progrès des machines à vapeur depuis 1878, il est nécessaire de vous donner d'abord, aussi rapidement que possible, un aperçu de la situation générale de ces machines à l'Exposition universelle de 1878, puis de passer en revue les principaux types exposés. J'arriverai ensuite à l'Exposition de 1889.

La machine à vapeur était représentée à l'Exposition universelle de 1878 sous les formes les plus diverses et à tous les degrés de puissance ; cependant elle se caractérisait par le nombre assez considérable de machines à quatre distributeurs ; les machines les plus répandues étaient encore les machines à détente Meyer, à détente à cames Farcot, variable par le régulateur. Il n'y avait qu'un petit nombre de machines *compound* proprement dites à manivelles à 90°. Il était déjà à remarquer que les pressions s'élèvent graduellement au fur et à mesure que les détails de construction, et spécialement le graissage et l'art de faire les joints, se perfectionnent.

Les pressions ne dépassent guère 5 à 6 kilogrammes, mais tendent à augmenter.

Les vitesses de marche suivent une progression de même ordre ; une machine, exposée par la Société de construction de Winterthur, marchant à une vitesse de 100 à 200 tours, est déjà très remarquée. En général, il y a tendance à imprimer aux machines des vitesses de plus en plus grandes, l'exemple des locomotives, et à la suite des machines marines à hélice, ayant démontré que la vitesse n'entraîne nullement une diminution d'effet utile de la vapeur.

Une machine à mouvements rapides est plus coûteuse d'entretien qu'une machine lente, et s'use plus vite; mais elle est moins chère d'achat, à égalité de puissance, et elle occupe moins de place.

Les diverses articulations se font généralement d'une manière simple; on ménage avec soin le graissage et le rattrapage de jeu. Les antifrictions et les bronzes phosphoreux commencent à entrer en 1878 dans la pratique courante d'un certain nombre de maisons. Comme conséquence des grandes vitesses, alors en usage, il y a tendance à angmenter l'étendue des contacts entre pièces frottantes.

Pour la distribution, les lumières affectaient trois dispositifs principaux :

1° Quatre lumières, organisme compliqué, indépendance des fonctions, espaces nuisibles faibles;

2° Deux lumières rapprochées à leurs orifices extérieurs et distributeur unique, distribution très simple comme organes, plus imparfaite comme fonctions, espaces nuisibles très grands.

3° Deux lumières courtes, organes en général plus simples que le premier dispositif.

Comme formes de bâti données aux machines horizontales, il y a déjà une tendance marquée par les constructeurs à adopter le bâti du type *Corliss*, c'est-à-dire le bâti forme *baïonnette*.

Nous allons citer les principales machines exposées, en nous basant sur le mode de distribution :

1° *Distributions par tiroirs et excentriques circulaires;*
2° *Distributions genre Corliss;*
3° *Distributions genre Sulzer;*
4° *Distributions par excentriques à ondes;*
5° *Distributions diverses;*
6° *Machines Woolf et compound.*

1° DISTRIBUTIONS PAR TIROIR ET EXCENTRIQUES CIRCULAIRES.

Cette distribution était encore et de beaucoup la plus usitée. Les grandes machines fixes étaient presque toutes à condensation, et leur distribution était compliquée.

Les distributions par tiroirs superposées étaient représentées à l'Exposition principalement par le type Meyer et le type Farcot.

La maison Farcot, ayant exposé une machine construite suivant cette distribution, cette machine, d'une exécution remarquable, résumait de longues et savantes études.

La Compagnie de Fives-Lille, et la maison Buffaud frères, de Lyon, exposaient des machines à distribution Farcot, d'une exécution supérieure et d'une grande élégance de formes; citons encore la maison Bôyer et la maison Breval.

La maison Berr, de Belgique, avait exposé une grande et belle machine d'extraction avec recouvrement de marche et distribution Meyer; la maison Buffaud frères, de Lyon, en exposait également une d'une exécution fort remarquable.

A citer également la machine Duvergier, marchant avec une grande régularité d'allure, régularité obtenue au moyen de la distribution Meyer, légèrement modifiée.

2° DISTRIBUTION GENRE CORLISS.

Comme la construction de ces machines doit être supérieure, et l'entretien fait par des ouvriers expérimentés, à cause des organes qui sont un peu délicats, les machines Corliss, exposées en 1878, étaient généralement remarquables par le soin apporté dans le tracé des diverses pièces, dans le choix et le travail des matériaux, *qualités et conditions sans lesquelles ces machines, fonctionnant mal, n'auraient pas de durée.*

Plusieurs constructeurs avaient exposé des machines Corliss, ne différant que par des détails, des dispositions ordinaires; nous citerons entr'autres les maisons Le Gavrian et fils, à Lille; Corbran et Lemarchand, du Petit-Quevilly (Seine-Inférieure); Lecouteux et Garnier, de Paris, dont les expositions se faisaient remarquer par le fini de l'exécution et la perfection de l'ajustage.

On voyait encore un grand nombre de machines à distribution dérivée d'une façon plus ou moins directe du type Corliss.

La maison Cail et Cie, de Paris, exposait une fort belle machine du système Corliss, avec distributeurs circulaires, commandés par un déclanchement d'une disposition fort ingénieuse.

Outre sa machine à distribution par tiroirs, dont nous avons eu occasion de parler, la maison Farcot avait exposé deux puissantes machines horizontales du type Corliss, avec quelques modifications importantes dans les distributeurs circulaires.

La maison Wheelock, de Worcester, avait fourni la machine motrice de la section américaine. Cette machine était du type Corliss.

3° DISTRIBUTIONS GENRE SULZER.

Le système de distribution, créé par la maison *Sulzer frères*, de Winterthur, comportait quatre soupapes à deux sièges, deux pour l'admission, deux pour l'échappement. MM. Sulzer frères furent amenés, en 1878, à superposer à

leur système de distribution la détente par échelons. Ils exposèrent des machines de leur système, fort belles et remarquables à tous égards.

Plusieurs machines du type Sulzer, fort bien construites en général, étaient exposées par diverses maisons; nous citerons, parmi les plus remarquables, celles de MM. Escher, Wyss et Cie; de MM. Satre et Averly, de Lyon; de la Compagnie d'Anzin, etc.

4° DISTRIBUTIONS PAR EXCENTRIQUES A ONDES.

Nous citerons en premier lieu la machine compound, exposée par MM. Claparède et Cie, à Saint-Denis (Seine).

La maison Artige et Cie, de Paris, exposait une machine horizontale dont les tiroirs d'admission étaient actionnés par une paire de manchons à bosses, coulissant sur l'arbre de commande et déplacés par le régulateur.

Mentionnons encore la machine motrice de la Section belge, exposée par la maison Cail, Halot et Cie, de Bruxelles, comportant une distribution à quatre tiroirs plats mus par des cames.

5° DISTRIBUTIONS DIVERSES.

L'Exposition présentait un grand nombre de distributions diverses, plus ou moins originales et ingénieuses; quelques-unes fort intéressantes, comme étude de cinématique.

Une des machines, les plus intéressantes à ce point de vue, était celle de la *Société suisse pour la construction des machines de Winterthur.*

6° MACHINES WOOLF. COMPOUND.

Les machines à plusieurs cylindres, en 1878, étaient peu connues; il y avait une foule de problèmes obscurs : proportions des cylindres, mouvements des pistons, etc. L'Exposition portait l'empreinte de ces hésitations et présentait un grand nombre de systèmes différents de machines à plusieurs cylindres.

On pourrait diviser ces machines en deux grandes classes :

1° Celles dans lesquelles les deux pistons arrivent *en même temps* aux extrémités de leur course, et dont la distribution est disposée de telle sorte que la vapeur, au sortir du petit cylindre, entre directement dans le grand; on réserve assez ordinairement aux machines de cette classe la dénomination de *machines de Woolf.*

2° Les machines dites compound, dans lesquelles la vapeur, en s'échappant du petit cylindre, se rend dans un réservoir intermédiaire, d'où elle est puisée par la distribution du grand cylindre.

Dans les machines compound il n'y a *aucune relation nécessaire entre les mouvements des deux pistons* et ils peuvent arriver à bout de course, soit simultanément, soit à des moments différents.

Une machine Woolf remarquable par sa belle exécution était celle exposée par la maison Windsor et ses fils de Rouen.

Citons encore les machines de MM. Boyer, de Lille, Thomas Powell, de Rouen, Boudier frères, de Rouen, les unes et les autres fort bien entendues et construites.

Dans toutes ces machines, les deux cylindres étaient à enveloppe complète de vapeur ; la détente était fixe dans le grand cylindre ; dans le petit cylindre, la détente était variable par le régulateur.

Le système Woolf était appliqué à un certain nombre de machines horizontales, mais en général le mode de fonctionnement n'était pas tout à fait le même que dans les machines verticales, seul le moteur Woolf de la maison Hermann-Lachapelle faisait exception ; les deux cylindres étaient côte à côte et enveloppés dans une même chemise de vapeur, les deux pistons étaient attelés sur une traverse unique, sur laquelle était montée la petite tête de bielle. La distribution était obtenue par un seul tiroir, placé sur le côté du petit cylindre, distribution fixe au grand cylindre.

Les machines outils en mouvement dans la section anglaise étaient actionnées par une magnifique machine construite par la maison Galloway et ses fils, de Manchester, c'était une machine Woolf horizontale avec deux cylindres accolés agissant sur des manivelles opposées.

Cette machine, quoique à condensation, n'avait pas d'enveloppe de vapeur, ce qui était une exception.

MM. Boudier frères, de Rouen, exposaient également une machine Woolf horizontale, à manivelles opposées dont la distribution était obtenue par un tiroir unique, et la détente par un obturateur de l'arrivée de vapeur mû par déclenchement.

Dans la section Espagnole on voyait figurer une machine construite par la maison *Alexandre frères*, de Barcelone. Cette machine était du système Woolf avec cylindres verticaux en dessous de l'arbre de couche, les deux pistons étaient fixés sur la même tige et le petit cylindre appliqué immédiatement au-dessus du cylindre de basse pression.

Toutes les machines du *système compound* qui figuraient à l'Exposition, étaient à deux cylindres à action directe et se rapportaient à deux dispositions principales, suivant que les deux cylindres disposés côte à côte agissaient sur

deux manivelles calées à angle droit, ou qu'ils étaient placés sur le prolongement l'un de l'autre.

En dehors des avantages généraux de la détente par haute et basse pression, l'emploi de deux manivelles à 90° a pour effet de donner au moteur beaucoup plus de régularité qu'une manivelle unique, ce qui permet de rendre le volant plus léger sans nuire à l'uniformité de la vitesse.

MM. Weyher et Richemond, administrateurs de la Société de construction de Pantin, avaient exposé une machine fixe compound de 120 chevaux à deux cylindres placés côte à côte dans une enveloppe commune de vapeur, agissant sur des manivelles à angle droit.

Le Creusot exposait une belle machine verticale à deux cylindres, système compound, elle avait l'avantage d'être établie au complet au dessus du sol sur un simple bloc en maçonnerie. L'arbre moteur qui est l'organe le plus fatigué dans les machines, se trouvait dans la région la plus basse et conséquemment dans la partie qui offre le plus de stabilité.

L'appareil de condensation était en contre bas des cylindres ; la vapeur condensée et l'eau qui pouvaient être entraînées depuis les cylindres, trouvaient par là un écoulement naturel et facile, et les cylindres eux-mêmes étaient préservés ainsi de toute chance d'accident pouvant provenir des coups d'eau.

La vapeur venant des chaudières était reçue dans un premier cylindre dit cylindre d'admission ; après y avoir fonctionné, elle passait dans un second, où le travail s'achevait par détente et condensation.

L'admission de la vapeur aux cylindres était réglée par des tiroirs à introduction variable.

La machine exposée par la maison Claparède et Cᵉ présentait des qualités d'un ordre différent. C'était une machine compound horizontale à deux cylindres côte à côte dont la puissance, à la vitesse de 40 tours, était d'environ 150 chevaux.

Citons encore la machine horizontale à deux cylindres exposée par la Société de construction des Batignolles de Paris ; ainsi qu'une très belle machine horizontale à deux cylindres, présentée par la Compagnie des usines de J. et C.-G. Bolinder de Stockholm (Suède).

Les deux importantes maisons qui tenaient une place si considérable dans la section Suisse, Sulzer frères de Winterthur et Escher Wyss et Cᵉ de Zurich, avaient exposé l'une et l'autre une machine compound horizontale se ressemblant par plus d'un point ; les deux cylindres horizontaux étaient dans le prolongement l'un de l'autre, le cylindre à haute pression plus près de la manivelle ; ils étaient réunis par une forte pièce en fonte ; la distribution était du genre Sulzer et la détente variable avait lieu dans les deux cylindres.

Il existait dans les galeries et dans les annexes, un grand nombre d'autres machines fixes intéressantes soit par leur exécution, soit par leur conception, mais les quelques machines que nous venons de passer en revue peuvent être considérées comme représentant les principaux types en usage en 1878.

Exposition de 1889

Les modifications apportées à la construction des machines à vapeur depuis 1878 peuvent se rapporter à trois causes principales :

1° La nécessité d'avoir des moteurs puissants à rotation rapide, pour répondre aux besoins des usines productrices d'électricité ;

2° La production du cheval vapeur au plus bas prix possible par les diverses machines employées par l'industrie.

3° La nécessité d'avoir des machines très puissantes du plus petit volume possible et d'un faible poids.

Nous verrons pour la seconde catégorie de machines que nous examinerons, c'est-à-dire pour les machines marines qu'une autre considération a amené les ingénieurs à construire les chaudières et les machines de torpilleurs dans les conditions d'établissement des locomotives, pour avoir des machines puissantes et d'un faible poids.

Les machines fixes industrielles, sur lesquelles nous allons nous étendre en premier lieu, ont été modifiées et perfectionnées en vue des considérations que nous venons d'exposer.

La première chose qui frappe dans l'examen des machines exposées en 1889, c'est la vitesse de rotation qui atteint des valeurs qu'on n'avait pas cru pouvoir obtenir jusqu'à ce jour, soit en se plaçant au point de vue de la sécurité et de la résistance des pièces du mécanisme, soit en se plaçant au point de vue de la bonne utilisation de la vapeur.

Certaines machines puissantes marchent à 150, 200, 300 tours ! et plusieurs machines de 30 à 40 chevaux atteignent 4 et 500 tours !

La première conséquence de ces grandes vitesses, en dehors de la résistance des pièces employées dans le mécanisme, a été d'amener le graissage à une grande perfection.

Dans toutes les machines à grande vitesse, le graissage est assuré en marche par les godets graisseurs situés à la portée du mécanicien et portant l'huile sur les tourillons à l'aide de conduits à genouillères.

Le graissage à la graisse est appliqué à un certain nombre de machines à l'aide de graisseurs par pression du système Stoffer ou de dérivés (machines Berger-André du Phénix, Wheelock, etc.).

Le graisseur Consolin, le graisseur Bourdon à gouttes visibles sont très répandus et on peut dire d'une façon générale que les huiles minérales pures et mélangées de suif, d'huile de Colza, etc., ont remplacé à peu près partout l'huile végétale pure.

Nous devons signaler le graisseur central appliqué à une machine Sulzer et à une machine de Windsor, ainsi qu'à diverses autres machines.

Le tourillon est mis en communication par un tube creux avec une ampoule ayant le même centre que l'arbre moteur. Dans cette ampoule vient déboucher le tube d'un graisseur ordinaire à syphon ; l'huile en arrivant est chassée par la force centrifuge jusqu'au tourillon à graisser.

Le graissage dans les machines marines est d'une importance capitale au point de vue de la conservation des chaudières.

La condensation par surface ramène périodiquement dans la chaudière la graisse entrée dans les cylindres, de sorte qu'au bout d'une campagne la quantité de matières grasses contenues dans l'eau est très considérable. On sait que les pertes d'eau sont compensées par l'emploi d'eau distillée.

Avec le graissage ancien à l'huile végétale, on avait des corrosions très rapides des tôles et lorsque la production des chaudières fut poussée à ce qu'elle est aujourd'hui, on dût rapidement abandonner les graisses végétales pour arriver aux graisses minérales.

Ce procédé de lubrification donne encore lieu à des dépôts sur les ciels de foyers qui peuvent acquérir une très grande épaisseur, mais, qui, sous une forme pelliculaire de quelques dixièmes de millimètres isolent en quelque sorte le métal de l'eau et lui permettent d'atteindre la température du rouge.

Les expériences de M. Hirsch à ce sujet sont concluantes. On voit donc qu'il faudrait arriver à ne pas graisser les organes internes de la machine marine pour obtenir des tôles se conservant bien.

Lemploi des tiroirs cylindriques équilibrés diminue beaucoup la quantité d'huile à employer, mais cela n'est encore pas suffisant.

M. Normand a fait divers essais tendant à l'application d'un filtre à graisse à l'échappement et les résultats obtenus semblent justifier cette complication.

L'emploi des huiles minérales est encore fort répandu dans la marine pour le graissage du mouvement, mais c'est là une chose peu recommandable, car il a été constaté qu'il se faisait des rentrées de matières grasses dans la chaudière par les presses-étoupes.

Les machines Farcot, Lecouteux et Garnier, ont comme graisseurs un appareil à piston du Capitaine Leneveu. Le piston est mû par une roue tournant sur la tige filetée ; la roue est mise en mouvement par une vis attaquée par une roue à rochet qui reçoit elle-même son mouvement d'un petit pendule qui oscille sous l'influence du déplacement de la bielle motrice de chaque côté d'un plan vertical.

Les progrès obtenus dans la confection des joints, dans la construction des chaudières, grâce à l'emploi des riveuses hydrauliques et d'un métal supérieur, ont permis d'élever les pressions sans qu'on y ait trouvé d'autre inconvénient que la difficulté d'emploi des injecteurs au delà de 12 kilogrammes, difficulté résolue du reste par l'emploi de certains injecteurs.

Les machines fixes sont établies pour marcher à une pression voisine de 7 ki-

logrammes en général, et allant jusqu'à 12 kilogrammes (machines Biétrix); les chaudières des torpilleurs arrivent à 12 et 14 kilogrammes.

Quant aux locomotives, elles sont timbrées à 15 kilogrammes pour les machines compound P.-L.-M.; 14 kilogrammes, machines compound du Nord; 13 et 12, machines ordinaires de la Compagnie d'Orléans et de la Compagnie du Nord, et de 10 à 12 kilogrammes pour les machines belges et anglaises exposées.

En même temps que les pressions s'élèvent, les espaces morts diminuent; dans les locomobiles peu étudiées, ils atteignaient 15 %, que l'on peut considérer comme un maximum, puis on est descendu rapidement à 10 et 8 %, ce qui est encore le cas général des locomotives. Actuellement, les machines ordinaires eu bon état, présentent 6 à 8 %, et les machines à quatre distributeurs ont de 3 à 6 %. L'Exposition de 1889 nous montre une machine à vapeur à distribution Stoppani, construite par M. Dyckhoff, à deux distributeurs, qui a 1,25 % d'espace mort.

A la question des espaces morts, se rattache intimement la question de la compression qui, seule, permet les grandes vitesses, en évitant les chocs à fin de course, et qui en même temps réchauffe les fonds de cylindre. Cet emploi de la compression, qui était autrefois limité presque exclusivement aux locomotives, est, on peut le dire, devenu la règle générale de toutes les distributions, sauf à varier d'importance avec la vitesse à obtenir.

En raison de la vitesse demandée aux machines, on a dû recourir à des vitesses de piston qui sont loin des limites classiques de $1^{m}50$ à 2 mètres, qu'on s'imposait autrefois.

La vitesse de 3 mètres est courante; la machine à distribution Frikart à déclic atteint 4 mètres de vitesse de piston à la seconde, et les machines des torpilleurs ont une vitesse de piston de 5 à 6 mètres.

La machine réversible, des Laminoirs de la Société du Nord et de l'Est, a une vitesse de piston de 7 mètres, qui nous a été signalée par l'ingénieur en chef de la Société Cockerill, M. Kraft.

Ces vitesses sont admissibles, puisque, dans les locomotives à roues de 2 mètres, marchant à 100 kilomètres, vitesse journellement atteinte, on a des vitesses de piston en moyenne de $7^{m},50$, et des vitesses maxima de $11^{m},860$ au milieu de la course. Enfin, cette vitesse de 100 kilomètres à l'heure est encore dépassée dans certains cas.

Comme détail de construction des machines à vapeur, nous pouvons signaler l'emploi général du bâti Corliss *à baïonnette*, avec glissières ménagées dans la partie cylindrique qui vient se fixer au cylindre à vapeur par des boulons; le palier moteur est aussi généralement à réglage extérieur par vis, ce qui permet au fur et à mesure de l'usure, d'avoir toujours un réglage mathématiquement exact, sans avoir à faire le levage de l'arbre. Nous décrirons en détail celui de la machine Farcot de 1000 chevaux.

Nous devons également signaler l'emploi général de la chemise à vapeur pour les machines à grande détente.

Les cylindres sont construits avec fourreau rapporté en fonte dure, ce qui donne d'excellents résultats.

Nous pouvons également citer un détail de construction qui est fort répandu à l'Exposition de 1889 : c'est l'emploi de *tôles au bois* non peintes pour l'enveloppe des cylindres. Les machines Sulzer, Escher-Wyss, Carells, de la Société de Bâle, de la Société de Winterthur, etc., emploient ces tôles, qui sont d'un fort joli aspect et économisent la peinture.

Quant aux condenseurs, on les trouve toujours disposés de façons diverses, soit en tandem, soit en dessous, ces diverses dispositions répondant le plus sousouvent à des nécessités particulières.

M. de Quillacq a muni sa machin ec ompound de deux condenseurs; cette disposition, qui lui a été demandée par l'arsenal de Lyon, permet la marche à condensation avec chacun des cylindres, en cas d'avarie.

Nous avons vu, qu'à l'Exposition de 1878, les machines fixes compound étaient en petit nombre, une dizaine tout au plus, et de puissance moyenne.

En 1889, au contraire, l'Exposition est caractérisée par l'emploi général de la machine compound. Il y a les 9/10 des machines exposées qui appartiennent à ce genre, et, de plus, un type semble prédominer d'une façon exclusive : c'est celui où les deux cylindres horizontaux sont parallèles et séparés par le volant. Chaque machine, en particulier, a tous les perfectionnemens actuels : bâti à *baïonnette*, distributeurs à déclic, etc. — C'est là *le type des machines motrices.*

Au premier type, appartiennent les machines de Quillacq, d'Escher Wyss, Sulzer, Carells, Compagnie du Phénix de Gand, Pernell; Berger-André, Olry et Granddmange, etc.

Les machines compound, type Pilon, à grande vitesse, pour lumière électrique, sont représentées en grand nombre : machines Weyher et Richemond, Farcot, Sautter et Lemonnier, Bréguet, d'Oerlikon, Sulzer, etc.

Faut-il conclure de là que la machine compound, avec distribution perfectionnée va s'imposer à l'industrie et être admise d'une façon exclusive? Nous ne le croyons pas; on doit à ce sujet faire entrer en ligne de compte l'avis des ingénieurs en chef d'associations de propriétaires de machines à vapeur, MM. Bour, Walther-Meunier, Compère, qui ont examiné la question avec une compétence indiscutable, et qui ont eu sous les yeux, dans les usines, des machines à leur état normal de fonctionnement. Nous donnons en note les conclusions de leurs rapports (notes A et B jointes au mémoire).

Les usines du Creusot, qui ont établi un grand nombre de machines à vapeur perfectionnées dans ces dernières années, construisent également des machines à déclic avec deux cylindres à vapeur fonctionnant en compound, et les ingé-

nieurs du Creuzot « pensent, que dans bien des cas, l'emploi de ces machines compound n'est pas avantageux. » Divers constructeurs ont la même opinion.

En prenant les meilleurs résultats obtenus avec des machines mono-cylindres et avec des machines compound, on trouve comme différence 1 kilogramme par cheval et par heure ; cette différence peut diminuer et être anéantie par des perturbations très légères dans la distribution de la machine compound ; les notes A et B en font foi.

Par conséquent, que reste-t-il à la machine Compound ? A détente égale, une machine compound, de même force qu'une machine mono-cylindre, a son grand cylindre égal à celui de la machine à cylindre unique ; le petit cylindre est donc un supplément de prix, d'achat, d'entretien, de graissage ; on a l'encombrement de plus, des fondations importantes à construire ; par contre, la régularité de la machine est plus grande.

Il ressort, de ces diverses considérations, que la machine compound ne s'impose guère que dans le cas où l'industrie à laquelle elle doit s'appliquer demande une grande régularité d'allure en même temps qu'un travail constant.

Nous devons signaler l'apparition de la machine à triple expansion comme machine fixe ; la machine Theiss, et la belle machine à trois cylindres en tandem, exposée par la maison Sulzer ; les machines Willans ; les machines Farcot, Rebourg, Weyher et Richemond, etc..., et même la machine à quadruple expansion construite par la maison Powell, de Rouen, etc.

En dehors de ces machines, on voit un grand nombre de machines mono-cylindres à déclic ; machines du Creusot, Brasseur, Lecouteux et Garnier ; Fives-Lille, Dyckhoff, Farcot, etc...

Ces machines, comme les machines compound, servent dans les diverses stations d'électricité à mettre les dynamos en mouvement ; mais, un grand nombre de types de machines spéciales à grande vitesse ont été créés, pour l'attaque des machines électriques, on peut les diviser en trois classes :

1° *Machines pilons simples* ou *compound;* machines *Weyher* et *Richemond*, *Farcot*, *Sautter* et *Lemonnier*, *Bréguet*, *Oerlikon*, *Lecouteux* et *Garnier*, etc.

2° *Machines horizontales à grande vitesse*, type Armington et Sims ; machines de la Société de construction mécanique de Bâle (système Burgin), Lecouteux et Garnier.

3° *Machines compactes*, *Westinghouse*, *Weidnecht*, etc.

On peut y adjoindre le *turbo-moteur*, construit par MM. *Weyher* et *Richemond*, et quelques machines rotatives Bonjour, Minary, etc.

Nous pouvons, à propos des deux classes de machines à grande vitesse, décrire dès à présent deux types de régulateurs à force centrifuge, placés dans le volant, qui sont d'un usage très répandu actuellement, et qui permettent d'obtenir des allures, remarquablement régulières, aux plus grandes vitesses.

Le premier brevet pris par Hartwell, relatif à ce mode de régulateur, remonte à 1870, une machine fut construite en Angleterre par Turner, et un brevet ayant même objet fut pris en France par M. Raffard, en décembre 1871. Dès 1876, ce type se répandait en Amérique, mais ce n'est guère que depuis quelques années que la construction de types analogues s'est répandu en France.

A deux types peuvent se rapporter tous les autres.

1° Le plus répandu aux Etats-Unis est celui dû à M. Armington et appliqué aux premières machines Armington et Sims qui parurent.

Il se compose de pièces destinées par leurs variations de positions respectives à changer la détente par changement d'angle de calage tout en laissant l'avance à l'admission sensiblement constante ; la tige de commande du tiroir est attaquée par un collier d'excentrique entourant un excentrique en deux parties G et D. L'excentrique intérieur est fou sur l'arbre moteur et porte venue de fonte, une douille à oreilles; cette douille est reliée par les bielles I, I' à deux masses M et M' articulées en deux points du volant.

Tout mouvement des masses fait donc varier la position de l'excentrique sur l'arbre.

Ce premier excentrique est entouré d'un deuxième excentrique relié à l'une des masses M' par la bielle E, c'est ce second excentrique qui porte le collier.

Les pièces sont disposées de façon que, lorsque les contre-poids sont dans leur position intérieure correspondant à un minimum de vitesse, le rayon d'excentricité de l'ensemble des deux disques C et D est donné par la ligne $O\,O_1$ et pour le maximum de vitesse par la ligne OO_2, OO_3 correspondant à une admission de 75 % de la course et OO_1 à une admission nulle.

L'avance à l'admission est constante pour tous les degrés d'admission.

Cette disposition donne donc tous les degrés de détente avec un seul tiroir.

2° Le régulateur *Lecouteux et Garnier*, dérivé du précédent, en diffère sensiblement par le détail.

Il n'y a qu'un seul corps d'excentrique faisant partie de la masse soumise à l'action de la force centrifuge. Cette masse M est soumise à l'action d'un ressort à pincettes et d'un frein à graisse demi-fluide F, formant cataracte ; l'excentrique est guidé dans son mouvement rectiligne par deux tiges cylindriques parallèles, et il est alternativement dirigé dans un sens ou dans l'autre soit par le contre-poids, soit par le ressort.

Pendant la marche, sous l'influence de la force centrifuge le contre-poids s'éloigne du centre, entraîne l'excentrique en tendant le ressort et le rayon d'excentricité OO' diminue.

On voit donc que le tiroir subit directement ces variations et par suite la détente faible à petite vitesse augmente avec l'accélération et prend une certaine valeur de régime en rapport avec le travail à effectuer.

Il y a beaucoup d'autres régulateurs, entr'autres le régulateur Proëll, le régu-

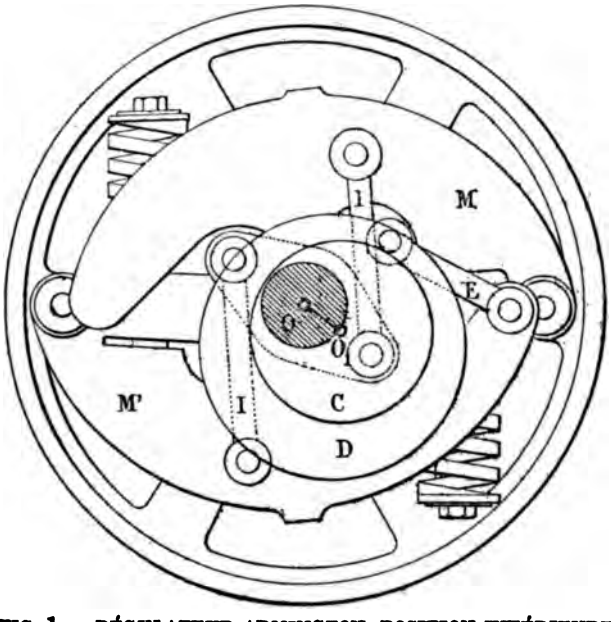


FIG. 1.— RÉGULATEUR ARMINGTON, POSITION INTÉRIEURE

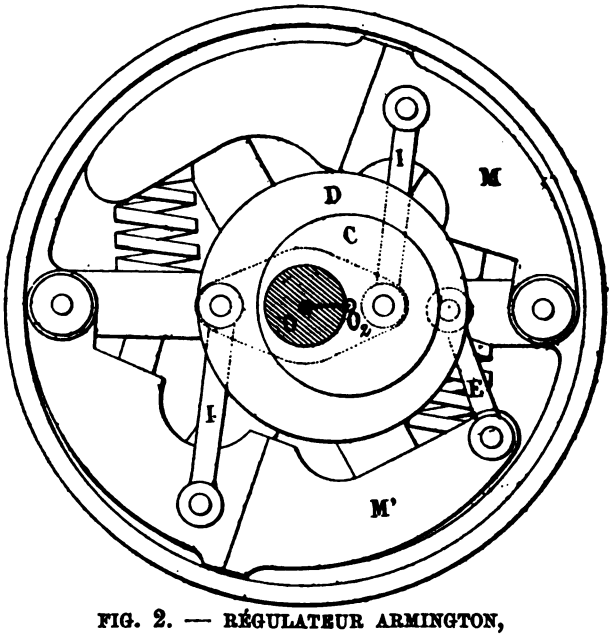


FIG. 2. — RÉGULATEUR ARMINGTON,
POSITION CORRESPONDANT AU MAXIMUM DE VITESSE

lateur Boulet dont les masses sont creuses et peuvent être plus ou moins alour-

dies, d'après le travail voulu, par l'addition de plomb, les régulateurs Dantel, Hadley, Buckeye, Oerlikon, Westinghouse, etc.

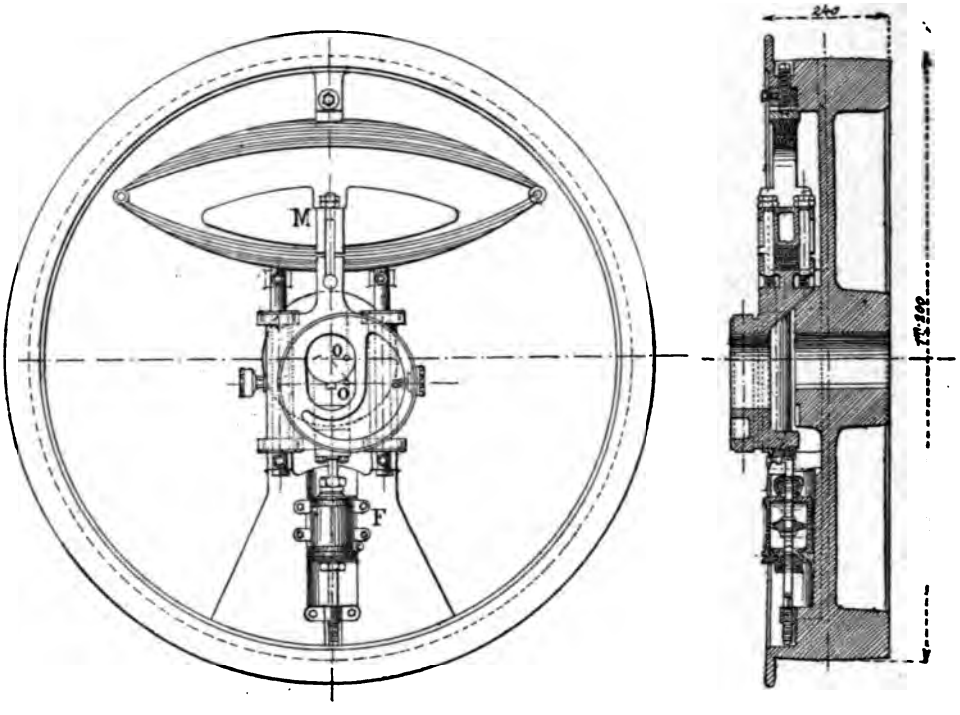


FIG. 3 ET 4. — RÉGULATEUR LECOUTEUX ET GARNIER

On voit que les anciennes distributions Meyer et Farcot (à cames) ne sont guère plus employées, la puissante machine de 1000 chevaux exposée par M. Farcot est à déclic, de son propre système.

Certains constructeurs ont remplacé dans des machines à déclic, le tiroir rotatif par un tiroir plat.

On peut citer :

Le nouveau type de machine *Wheelock* à distributeur à grille, construit par M. de *Quillacq*.

La machine de MM. *Casse* et *Fourlinnie* à quatre distributeurs plans.

La machine de la Compagnie de *Fives-Lille*.

La machine Brown de la section américaine.

La machine de la société Verviétaise, etc.

Les machines à soupapes sont toujours en faveur, et la maison Sulzer expose une soupape en bon état, après 15 ans de fonctionnement ; ce cas paraît un peu spécial et il nous semble difficile d'admettre les soupapes comme le meilleur organe pour les distributeurs.

La maison Biétrix expose un distributeur à boisseau en bon état, après 4 ans de fonctionnement et applique cet appareil à toutes les machines qu'elle construit.

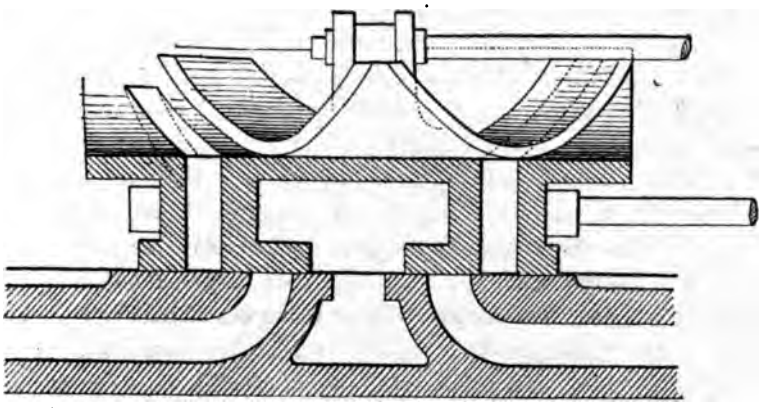


FIG. 5. — COUPE *gh*

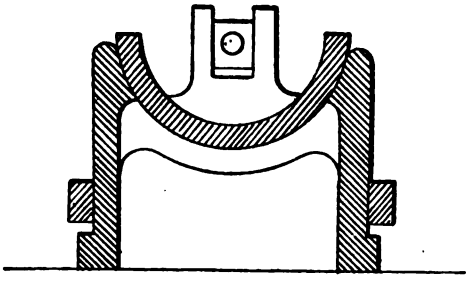


FIG. 6. — COUPE *ef*

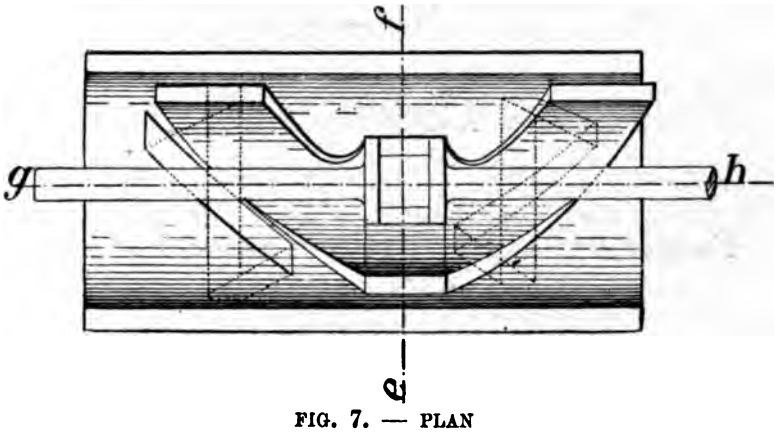


FIG. 7. — PLAN

La distribution Meyer modifiée par Ryder pour la rendre plus facilement réglable par le régulateur, est assez répandue, on la trouve appliquée à la Société

alsacienne de constructions mécaniques et à plusieurs machines suisses, à la machine exposée par M. Albert, aux machines construites par M. C. Bourdon ; nous en donnons le dessin, figure 5, 6, 7.

Dans certaines machines à grande vitesse on trouve des distributions spéciales telles que celles que nous décrirons pour la machine Armington et la machine Westinghouse à distributeurs cylindriques équilibrés et à mouvement alternatif; ces tiroirs cylindriques figurent dans un grand nombre de machines à grande vitesse, Oerlikon, Lecouteux et Garnier, etc., ou celle de la maison Mégy, à tiroir circulaire, à mouvement de rotation continu, comme le distributeur Biétrix, etc.

Au point de vue théorique nous pouvons signaler le beau travail de M. Dubost, ingénieur à la Compagnie de l'Est, sur le procédé destiné a obtenir une épure de distribution rigoureusement exacte, nous renvoyons à son intéressante communication faite au Congrès international de mécanique appliquée.

Au cours de ce travail nous donnerons le procédé Herlay, qui permet de faire l'épure d'une distribution par tiroirs avec plaque de détente, plus simplement que par le procédé de Zeuner, quoique dérivé de ce dernier dont l'emploi est maintenant à peu près général dans tous les bureaux d'études; nous signalerons aussi les travaux de M. l'ingénieur belge Cloeys, sur les tiroirs à plaques de détente.

Nous allons maintenant passer successivement en revue les types principaux des machines actuelles, dont la plus grande partie se trouvait dans le palais si remarquablement construit par mon collègue et ami M. Contamin ; nous appuierons davantage sur les machines présentant quelque nouveauté. Mais nous devons signaler ici la perfection atteinte par les divers constructeurs dans l'exécution mécanique des pièces des machines exposées, et qui montre à quelle hauteur s'est élevé l'outillage dont dispose actuellement l'ingénieur-mécanicien.

MACHINES A TIROIRS ORDINAIRES

Machine à un seul cylindre de la société de l'Horme, à détente Bonjour.

(Planches 1-2).

Cette machine est caractérisée par une distribution robuste et simple, du système Bonjour, qui a pour but de donner encore un bon mode de distribution de la vapeur, tout en n'employant pas la complication inhérente aux machines à déclic. Cette distribution ayant fait l'objet d'une très intéressante communication

de M. Bonjour, au Congrès de mécanique appliquée, nous y renvoyons pour plus de détails.

Le tiroir de distribution est ordinaire et commandé par un excentrique ; puis dans ce tiroir, un autre petit tiroir circulaire équilibré qui s'y meut de façon à produire la détente.

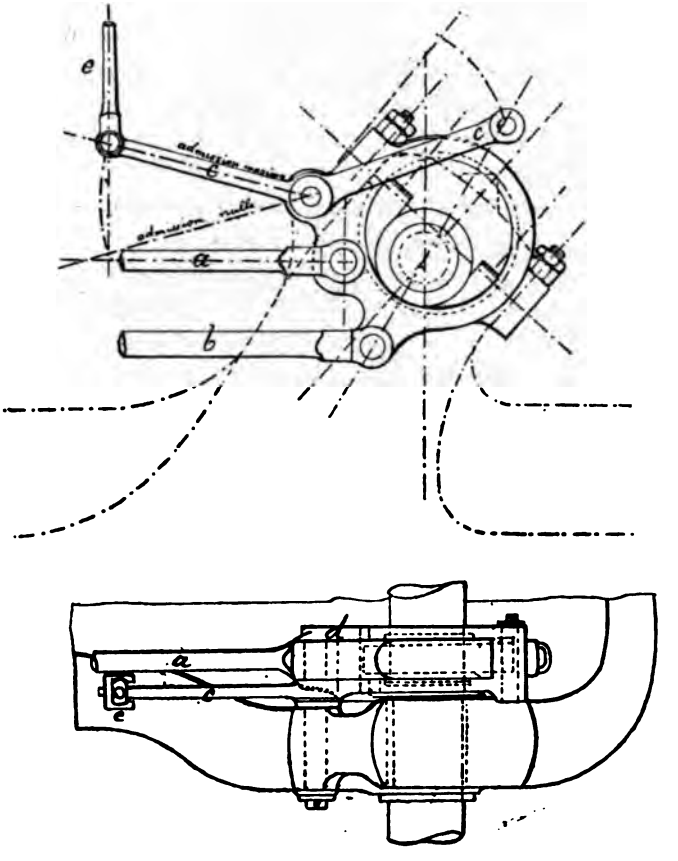


FIG. 8 ET 9. — DISTRIBUTION BONJOUR

C'est le même excentrique qui les commande tous deux, à l'aide des barres de commande *a* et *b* attachées en deux points différents de son collier.

Les variations de détente s'obtiennent à l'aide de deux leviers dont e mouvement combiné change l'orientation du collier de l'excentrique, sans influencer le mouvement du tiroir principal.

Un de ces leviers est relié à un régulateur qui commande les variations de détente.

Pour passer de l'admission nulle à l'admission maximum, l'oscillation du levier

c dit d'orientation, n'est que de 30°, et lorsque le régulateur est à sa position supérieure, les orifices du tiroir principal restant continuellement recouverts par le tiroir de détente, il n'y a plus d'admission.

Les glissières de cette machine sont à section circulaire. Le volant de la machine, en fonte d'une seule pièce, sert de poulie.

Le condenseur situé sur le côté est actionné par une bielle montée sur l'arbre moteur.

Cette distribution est simple et robuste et il est permis d'en espérer de très bons résultats.

a. — Bielle commandant le tiroir principal.
b. — » » » de détente.
c. — Levier d'orientation portant l'axe d'oscillation du levier de suspension D.
d. — Levier de suspension.
e. — Tringle du régulateur actionnant le levier d'orientation.

Machine de la Société de Gilly.

(Planches 3-4)

La machine exposée par la Société de Gilly, développe un travail de 75 chevaux. Le diamètre du cylindre est de 500 millimètres et la course de 800, elle marche à 70 tours par minute.

L'admission de vapeur se fait par une soupape ordinaire S équilibrée, à double siège ; le tiroir sert simplement pour régler l'échappement. Ce tiroir est mis en mouvement par une poulie excentrique et sa bielle. C'est sur cette bielle qu'est articulé le balancier communiquant le mouvement à la soupape. Ce dernier est composé d'une bielle et d'un levier, articulé à la partie supérieure du bâti du régulateur, de deux branches courbées B et B' de détente, qui suivent le susdit levier dans son mouvement de va-et-vient et butent par l'extrémité de leur plaque de toc (acier trempé) contre les leviers doubles, reliés à la soupape par une tige avec crossette variable.

Le régulateur R fait monter et descendre les deux boutons variables, qui arrêtent les branches courbées de détente, obligent celles-ci à se soulever ce qui forme le déclic.

Un cylindre à air placé sur la tige de la soupape, amortit la chute de celle-ci.

L'effort du régulateur étant pour ainsi dire nul, il s'ensuit de là qu'on obtient avec cette disposition une régularité parfaite.

La soupape S étant à double siège et sa section calculée pour avoir quelques

millimètres de levée, son fonctionnement est encore régulier pour les grandes vitesses.

Les glissières de cette machine sont à section circulaire. Le volant en fonte en deux morceaux, sert de poulie.

Cette machine est plutôt qu'un système spécial, l'adaptation d'une soupape aux machines ordinaires, car si on obtient la rapidité d'ouverture et de fermeture du déclic on conserve les espaces morts. Il est donc peu probable que cette machine donne en pratique des résultats supérieurs aux machines à tiroirs ordinaires.

Machine horizontale réversible de 3000 chevaux du Creusot.

(Planches 5-6)

Cette machine a deux cylindres horizontaux de $1^m,200$ de diamètre et de $1^m,50$ de course, elle est remarquable par sa puissance et sa simplicité.

L'admission est réglée à 0,75 de la course, pour permettre le démarrage dans toutes les positions, ce qui conduit à des dépenses de vapeur de 18 à 20 kilogrammes de houille par cheval et par heure ; malgré cette consommation élevée *le Creusot* a préféré établir cette machine à deux cylindres semblables et sans condensation, que d'adopter soit une machine Compound, soit une machine à condensation, ce qui eût diminué dans une certaine mesure les qualités essentielles demandées à une telle machine : la docilité et la facilité de renversement.

Cette machine a ses *tiroirs cylindriques* et le changement de marche est constitué par une coulisse droite d'Allen actionnée par un servo-moteur hydraulique.

Une soupape équilibrée à double siège sur laquelle agit le machiniste, sert à régler la pression et la vitesse de la machine pendant le laminage.

Cette machine actionne un train de tolerie destiné à la production des plaques de blindage avec des cylindres de 3 mètres de diamètre.

La machine marche à 75 tours.

Comme beaux résultats de laminage, on peut citer l'opération du 2 mai 1889, avec 4 kilogrammes correspondant aux diagrammes figure 10, qui donnent un travail de 3150 chevaux dans les cylindres ; on a laminé un lingot de 9500 kilogrammes, ayant 600 millimètres d'épaisseur en une plaque de 69 millimètres d'épaisseur, destinée à faire un blindage de pont de $2^m,745 \times 4^m,500 \times 0,069$ en une seule chaude en 62 passages aux laminoirs qui ont duré 15 minutes.

Nous donnons ci-après le *calcul des diagrammes.*

Pression : 4 kilogrammes

pression par centimètre carré correspondant aux ordonnées moyennes

AV	2 k. 91
AR	2 k. 72

Pression totale sur le piston

AV	$2.91 \times 11078 = 32200$ kil.
AR	$2.72 \times 11272 = 30800$ kil.

$$T = \frac{(32200 + 30800)\ 1.5 \times 75}{60 \times 75} = 1575 \text{ chevaux.}$$

et pour les deux cylindres 3150 chevaux.

Diagramme AV-------
Diagramme AR———

C'est également à ce train qu'ont été préparées les grandes tôles formant en même temps la poutre de résistance et la caisse des voitures à intercommunication de la Compagnie d'Orléans, dont un type figure à l'Exposition.

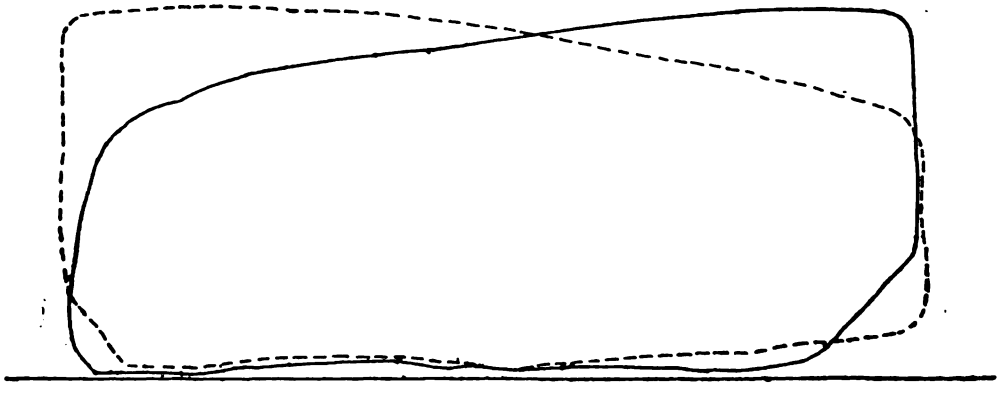


FIG. 10. — DIAGRAMMES PRIS SUR LA MACHINE RÉVERSIBLE DE 300 CHEVAUX DU CREUSOT

Ces tôles présentaient de grandes difficultés de laminage, elles ont, étant finies, les dimensions suivantes :

Longueur	17m,050
Largeur	1 ,127
Epaisseur	0 ,005

On est parti d'une plaque préparée ayant 1.200 × 1,400 × 0,080.

Le laminage a nécessité 21 passages.

Dès le 12me passage les cylindres se touchaient, la flexion des cylindres et la compression des pièces qui les maintiennent, produisant seules l'écartement nécessaire au passage de la tôle.

En raison de la grande longueur de la tôle, la vitesse de rotation de la machine dut être portée à 100 et 110 tours et par suite la vitesse moyenne du piston à 5m,250 par seconde.

Machines Burckhart de Bâle actionnant des compresseurs d'air

(Planches 7-8).

Ces machines à cylindre unique sont montées sur le même bâti avec le cylindre compresseur d'air, qui est accolé au cylindre à vapeur ou bien au tandem. Le diamètre du cylindre est de 330 et la course 350. La distribution, variable par le régulateur, est du système Ryder.

Les glissières sont à section circulaire. Le volant-poulie est en deux morceaux.

Le graissage est assuré par les graisseurs Weiss.

Ces machines bien étudiées, compactes, sont fort bien exécutées.

Pompe Worthington

Ces machines sont caractérisées par l'absence de mouvement de rotation et d'excentrique pour conduire la distribution.

La machine type se compose de deux cylindres à vapeur accolés et situés face à face avec les cylindres des pompes. Chaque piston à vapeur a donc sa tige commune avec le cylindre à eau

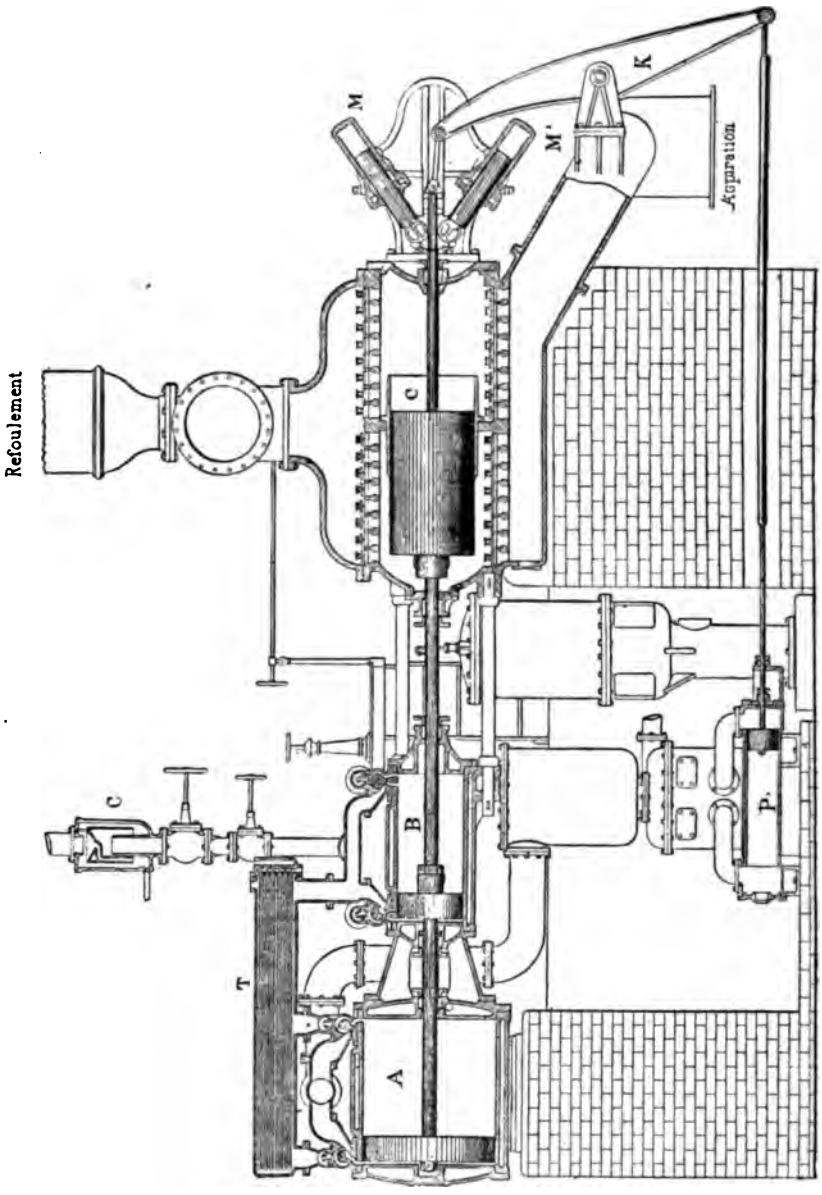


FIG. 11. — POMPE WORTHINGTON

A l'aide d'un double levier à équerre, la tige des pistons de droite actionne la distribution de gauche et réciproquement. De cette façon on démarre dans toutes les positions.

Ces pompes d'un usage très répandu en Amérique et en Angleterre donnent de bons résultats.

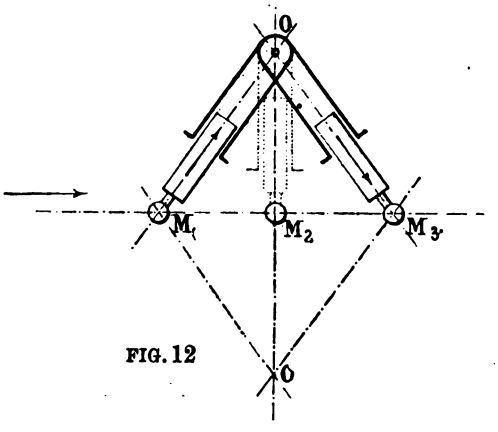


FIG. 12

Ce sont deux pompes semblables de grand modèle qui montent l'eau au sommet de la Tour Eiffel, pour actionner l'ascenseur Edoux.

Locomobiles

Les machines locomobiles forment le plus grand nombre des machines à tiroirs ordinaires.

Il faut citer toutes les maisons françaises qu'on retrouve au cours de ce travail qui construisent des locomobiles simples ou compound.

Nous citerons également la locomobile de 80 chevaux, de la maison belge Cail et Halot, qui pêche un peu par le manque de stabilité.

La locomobile de 8 chevaux, de la maison Piroult de Bruxelles dont la machine reposant sur la chaudière est fixée par un nombre de boulons très restreint.

Les locomobiles Gausset, etc., et les machines Davey et Paxmann, Aveling et Porter, en Angleterre, etc.

MACHINES A QUATRE DISTRIBUTEURS

Machine Corliss horizontale exposée par le Creusot

(Planches 9-10)

Cette magnifique machine, d'une exécution mécanique parfaite, développe un travail de 400 chevaux.

Elle est munie de la distribution Corliss de 1879, à plateau dit *araignée*, dont les bras actionnent les distributeurs à l'aide de quatre bielles.

La machine qui figure à l'Exposition est différente des nombreux exemplaires qui fonctionnent par ses dimensions plus grandes.

Diamètre du cylindre . . . $0^m,750$.
Course du piston . . . . . $1^m,400$.

Les obturateurs d'échappement ont été abaissés par rapport à leur position primitive, de façon que ces obturateurs ne soient pas exposés à être rencontrés par le piston dans le cas d'une manœuvre du mécanisme de distribution à la main au moment du démarrage ; cette disposition augmente un peu, il est vrai, les espaces morts.

Cette machine a une enveloppe de vapeur d'une capacité plus étendue que celle des machines précédentes ; les pistons de rappel des obturateurs d'admission et la cataracte du régulateur sont placés au-dessus du sol. Le condenseur est en tandem.

Le régulateur employé est le régulateur à grande vitesse de Porter. Le degré d'isochronisme est donc augmenté et les variations de force vive radiale des boules et les oscillations qui en sont la conséquence ont été atténuées.

Le régulateur est en outre rendu plus sensible par la suppression de la came et son remplacement par un système de leviers, qui permet toujours d'obtenir l'arrêt de la machine en cas d'arrêt accidentel du régulateur.

Ces machines sont munies d'une pompe qui refoule dans la chaudière l'eau condensée dans les enveloppes et dans les tuyaux d'arrivée de vapeur. Les glissières sont à section triangulaire. Les patins sont à garniture de métal blanc. Le boulon de crosse est à graissage central.

D'après les nombreux essais faits sur ce type de machine, on peut compter sur une consommation de $7^k,500$ de vapeur par cheval et par heure.

Au point de vue de l'exécution matérielle de cette machine, on peut la dire parfaite.

Machine Corliss verticale du Creusot

(Planches 11-12)

Cette machine est du *type Pilon* à un seul cylindre et à condensation.

Le système de distribution et de déclic est le même que celui des machines horizontales. La pompe à air verticale est à simple effet et est commandée par un balancier relié à la tête du piston à vapeur.

Les quatre colonnes qui supportent le cylindre et qui reçoivent les glissières sont creuses et à section rectangulaire ; elles sont solidement fixées à la plaque de fondation qui porte le palier moteur ; elles sont en outre parfaitement reliées entre elles dans tous les sens et forment un tout extrêmement rigide.

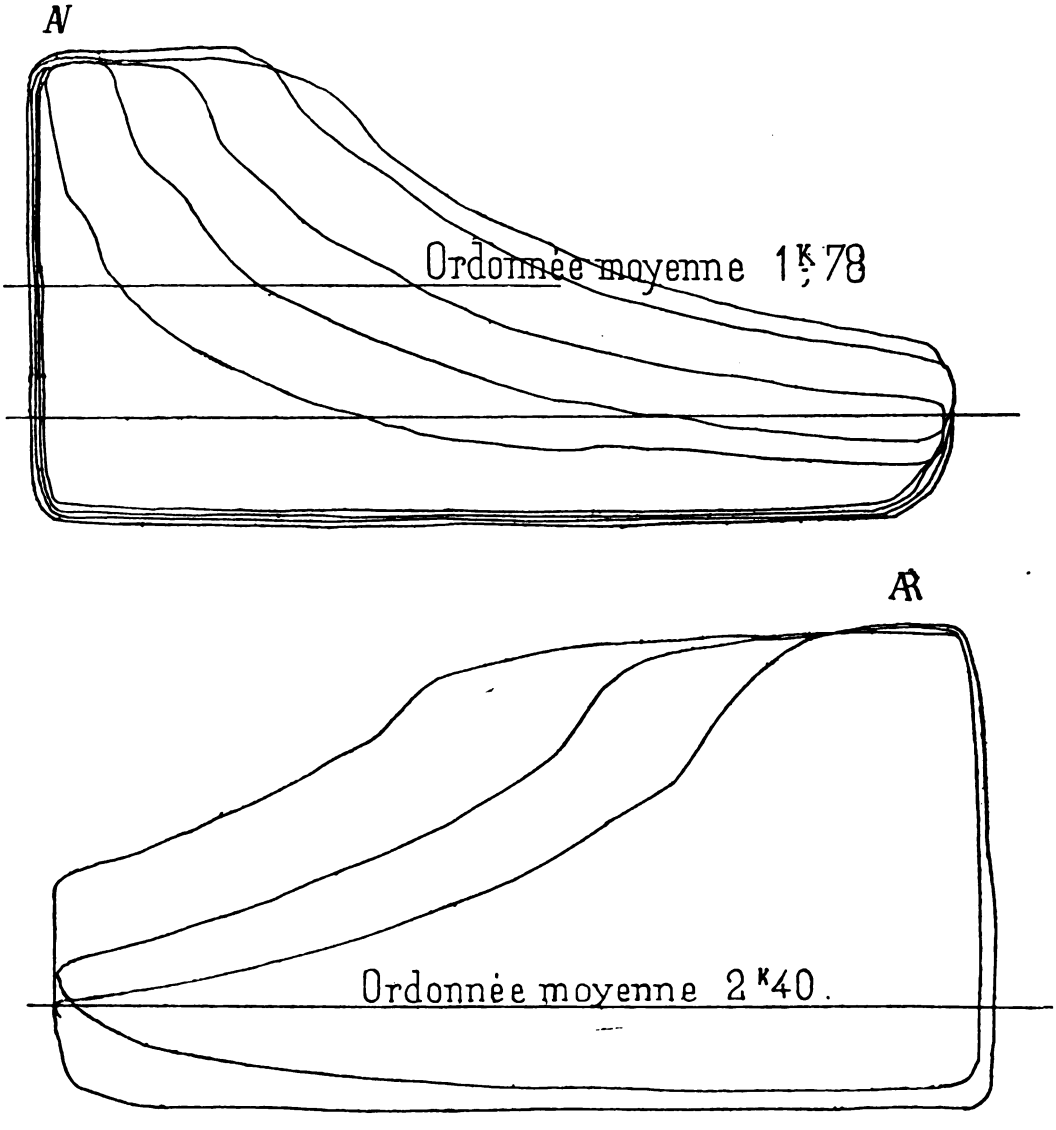


FIG. 13 ET 14. — DIAGRAMMES PRIS LE 7 MARS 1889 SUR LA MACHINE CORLISS VERTICALE DU CREUSOT.

A 70 tours par minute, cette machine développe 900 à 1000 chevaux, la vitesse du piston est de $3^m,730$ par seconde.

Ces machines présentent bien des avantages pour la conservation des cylindres, garnitures, tiges et au point de vue de l'emplacement, mais elles sont par contre d'un coût plus élevé à cause de l'importance très grande des bâtis et des plaques de fondation.

Le Creusot, l'usine de Fourchambault, de Dombrowa, possèdent ce type de machine qui pourrait être utile pour les stations centrales d'électricité.

Le diamètre du cylindre est de 1 mètre, la course du piston $1^m,600$.

Cette machine est construite pour marcher de $3^k,500$ à 4 kilogrammes.

Les diagrammes ci-dessus, relevés le 7 mars 1889, montrent quels efforts différents la machine a à vaincre pendant l'opération du laminage et aussi la façon régulière dont le régulateur modifie la période de pleine admission.

Machine Windsor mono-cylindre

(Planches 13-14)

La machine exposée par M. Windsor est du système horizontal, à un seul cylindre, à détente variable par le régulateur; elle fonctionne à haute pression avec échappement à air libre ou condensation.

Les organes de distribution de vapeur, employés dans cette machine, sont du même système que ceux de la machine à deux cylindres compound.

La forme du bâti et enfin tout l'ensemble de ce moteur se rapprochent aussi sensiblement de ce type que nous décrirons plus loin.

Le cylindre est également rapporté dans une enveloppe de circulation de vapeur, revêtue d'une enveloppe en bois garnie de calorifuge.

Cette machine est de 100 chevaux.

Diamètre du cylindre $0^m,457$.

Course du piston 1 mètre.

Vitesse de régime 70 tours par minute.

Le volant de la machine est construit en deux pièces, il a un diamètre de $4^m,500$ et porte 8 gorges pour transmettre la commande par câbles.

Les glissières sont à section circulaire. Le boulon de crosse est à graissage central. La bielle motrice est munie d'un graisseur pendule.

Machine Corliss de la Maison Lecouteux et Garnier

(Planches 15-16)

La machine motrice de 150 chevaux et les deux machines développant 500 chevaux à l'une des stations d'électricité du Champ de Mars sont du type Corliss,

modifié par MM. Lecouteux et Garnier, qui ont pu porter l'admission maximum aux 8/10 de la course du piston.

La machine de 150 chevaux fonctionne à 5 kilogrammes et tourne avec une vitesse de 65 tours à la minute, avec une introduction de 1/8 ; la machine est à condensation et la pompe à air à simple effet est placée à l'arrière du cylindre et conduite par le prolongement de la tige du piston. Le cylindre est en trois pièces, une enveloppe en deux parties et une chemise intérieure. Chaque partie de l'enveloppe renferme une boîte circulaire pour l'admission et une pour l'échappement comme Sulzer. La réunion de ces deux enveloppes se fait *au centre*, disposition spéciale, par deux brides tournées, rodées l'une sur l'autre et boulonnées après emmanchement à chaud de la chemise intérieure. La section des glissières est triangulaire et le jeu peut se rattraper sans démontage à l'aide de vis. La bielle motrice est munie du graisseur pendule Leneveu. Les graisseurs Chatel à gouttes visibles sont employés pour les obturateurs d'admission.

La distribution Corliss a été modifiée intelligemment par MM. Lecouteux et Garnier.

Pour un travail essentiellement variable comme celui d'un laminoir, d'une scierie ou même d'une station centrale d'électricité, le moteur est appelé à passer d'une force presque nulle à une force très grande ; il a tendance au ralentissement. Le régulateur dont la course est avec raison relativement petite, s'abaisse brusquement et la vapeur est introduite en pure perte d'un bout à l'autre de la course du piston. La machine reprend une allure précipitée et le régulateur, revenant à sa position primitive, donne lieu pendant quelques instants à un balancement fort désagréable, très dangereux, provenant de la disproportion entre la puissance et la résistance. Pour remédier à cet inconvénient il fallait donc chercher un moyen d'éviter les sauts brusques d'introduction et de passer par tous les degrés de la détente proportionnellement à l'effet à vaincre ; en un mot, il fallait augmenter l'élasticité de la machine.

C'est ce qu'a fait *Corliss* dans ses nouveaux types de 1880 et de 1885, et c'est le perfectionnement qui a été appliqué en 1883 à sa machine de 1868 par la maison Lecouteux et Garnier (fig. 6, 7 et 8).

La brimballe C est munie d'une troisième touche I, placée entre les deux autres, présentant à sa partie inférieure une contrepente opposée à celle des palettes A. Ces palettes sont aussi munies d'un taquet E monté sur un axe de telle façon que, lorsque le porte-ressort se déplace dans le sens habituel où s'opère le déclenchement, ce taquet puisse osciller et s'effacer pour ainsi dire au contact de la touche I ; puis, lorsque le porte-ressort revient en arrière, le taquet E se redresse et s'engage sous la touche I. On conçoit alors que, selon la position en hauteur de cette touche, le déclenchement puisse s'opérer dans le mouvement de retour du porte-ressort. C'est ce mouvement de retour qui a permis de porter

l'introduction de vapeur jusqu'aux 8/10e de la course du piston, en passant par tous les degrés intermédiaires.

La distribution primitive de Corliss présentait un inconvénient : si, pour une cause quelconque le régulateur cessait de fonctionner et tombait au bas de sa course pendant la marche, la machine risquait de s'emporter et pouvait donner lieu à de graves accidents.

On a paré à ces risques en prolongeant les palettes de déclenchement en arrière de leur plan incliné par une autre pente A'.

La brimballe étant munie de deux talons B, placés à l'opposé des touches de déclenchement par rapport à son axe d'oscillation, bascule sous l'action du régulateur qui touche à fond de course et vient appuyer sur les contrepentes A' des palettes ; celles-ci, se trouvant soulevées, ne peuvent plus entrer en contact avec les pièces de commande des tiroirs qui restent alors fermés, et la machine s'arrête d'elle-même.

Les grands ressorts plats de Corliss pour la fermeture rapide des tiroirs d'admission ont été gardés de préférence aux tiroirs à air et à vapeur.

Voici le résumé des essais au frein de Prony et à l'indicateur de Watt faits à Romilly sur une machine Corliss de 80 chevaux, construite par MM. Lecouteux et Garnier.

Durée de l'expérience	8 heures.
Nombre de tours par minute	50
Pression dans la chaudière.	5 k. 85
— à l'admission	5 k. 35
— au condenseur en millimètres de mercure	50 m/m
Température de l'eau à la sortie du condenseur. .	25°
Degré d'admission	1/12e
Travail par seconde pour les deux faces du piston	95 ch. 78
Travail sur l'arbre	80 ch. 9
Rendement	84,60 %
Nombre de diagrammes relevés	78
Volume de vapeur vaporisé en huit heures . . .	4695 litres
Température moyenne de l'eau d'alimentation . .	15°
Consommation moyenne de vapeur par cheval indiqué et par heure	6 k. 127
Consommation par cheval sur l'arbre	7 k. 254

Cette machine est robuste et doit être d'un emploi très pratique.

Machine à balancier oscillant de MM. Fourlinnie et Casse

(Planche 17)

Cette machine a été construite dans le but de supprimer le parallélogramme de Watt, et d'avoir ainsi une attaque directe du balancier par la tige du piston.

Ce système a l'avantage de réduire la hauteur de la machine.

La machine exposée au Champ de Mars est double jumelle avec manivelles à 90°; les cylindres verticaux sont reliés très solidement au bâti, et leur distribution est à déclic, mais avec tiroirs plans. Le condenseur est dans le sous-sol.

Ces cylindres sont à enveloppe de vapeur vive; l'enveloppe peut recevoir la vapeur à 1/2 kilogramme de plus que l'admission, de sorte qu'on peut graisser avant la mise en marche avec un graisseur continu à condensation, ce qui est assez avantageux; ce graisseur étant en communication avec l'enveloppe qui reçoit la vapeur à l'avance, on évite ainsi les condensations habituelles de la mise en marche.

Les dimensions principales sont :

Diamètre des cylindres	$0^m,630$
Course	$1^m,360$
Vitesse de rotation	52 tours.
Vitesse du piston	2,357
Lumières d'admission, 62 × 300	$0^{m2},0136$
Lumières d'échappement 70 × 310	$0^{m2},0217$
Diamètre du condenseur à double effet	$0^m,300$
Course	$1^m,360$

Le volant est en deux parties.

Nous devons signaler la disposition originale du régulateur à air de cette machine; on peut lui reprocher les défauts inhérents aux machines à balancier; les masses en mouvement sont encore plus considérables que dans les machines à balancier ordinaire, et, en résumé, cette machine est assez compliquée.

Machine à quatre distributeurs à soupapes exposée par la Société de construction de la Meuse

(Planches 18-19)

Cette machine a son cylindre complètement entouré de vapeur, enveloppe et plateau d'avant et d'arrière, ainsi que les soupapes d'admission, comme on le voit par le dessin, planches 18-19. Elle développe un travail de 80 chevaux.

La vitesse du régulateur est variable, grâce à l'emploi d'embrayage à plateau de friction, et le système du régulateur permet d'augmenter ou de diminuer rapidement et facilement la vitesse de régime de la machine sans toucher à la distribution.

Le mécanisme de distribution est très léger.

Les pistons à air sont sur la tige même des soupapes. Cette machine a le système de lubrification Stopfer, à la graisse, et le boulon de crosse est à graissage central.

L'avance à l'échappement et la durée de compression sont réglées par le calage de l'excentrique et des leviers de commande. La durée d'admission et de détente est variable automatiquement par un régulateur à boules.

Nous joignons, figure, 15 et 16, page suivante, un dispositif employé par la Société de la Meuse, pour faire varier, à l'aide de la disposition très simple du plateau d'attaque, le degré de compression pour cylindre à basse pression.

Cette machine, grâce à sa grande vitesse, peut développer un travail de 80 chevaux pour lequel ses organes semblent peu robustes.

Machine de la Compagnie de Fives-Lille

(Planches 20 à 23)

Cette machine horizontale est à condensation, à quatre distributeurs et à tiroirs plans; elle a un cylindre de $0^m,550$ de diamètre et de $1^m,100$ de course.

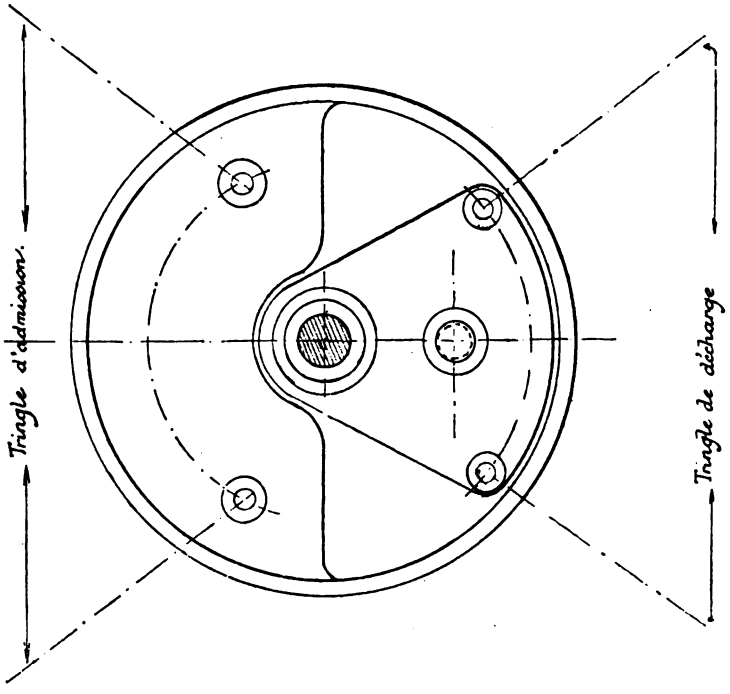
Les principaux perfectionnements apportés à cette machine sont relatifs au mécanisme de distribution qui se compose de deux tiroirs à glace plane, spéciaux et à mouvement rectiligne, soustraits momentanément à l'action de l'excentrique de commande, et fermés brusquement au moyen de ressorts.

La commande de la distribution se fait par l'intermédiaire d'un arbre coudé placé transversalement au milieu du cylindre, et reposant par ses deux extrémités sur les supports à douille. Cet arbre reçoit un mouvement oscillatoire qui lui est transmis par l'extrémité de la barre d'excentrique de distribution, attelée à la partie coudée de l'arbre, entre les deux supports.

Les chariots des leviers de déclic sont entièrement guidés dans des glissières fixes. Ils sont actionnés par des bielles articulées symétriquement sur l'arbre de distribution.

La symétrie de ces pièces égalise les effets des dilatations auxquelles elles sont soumises.

Chaque tiroir d'admission est emboîté dans un cadre à douille assujetti sur la tige. Un petit ressort, fixé à l'extérieur du cadre, maintient le tiroir appliqué



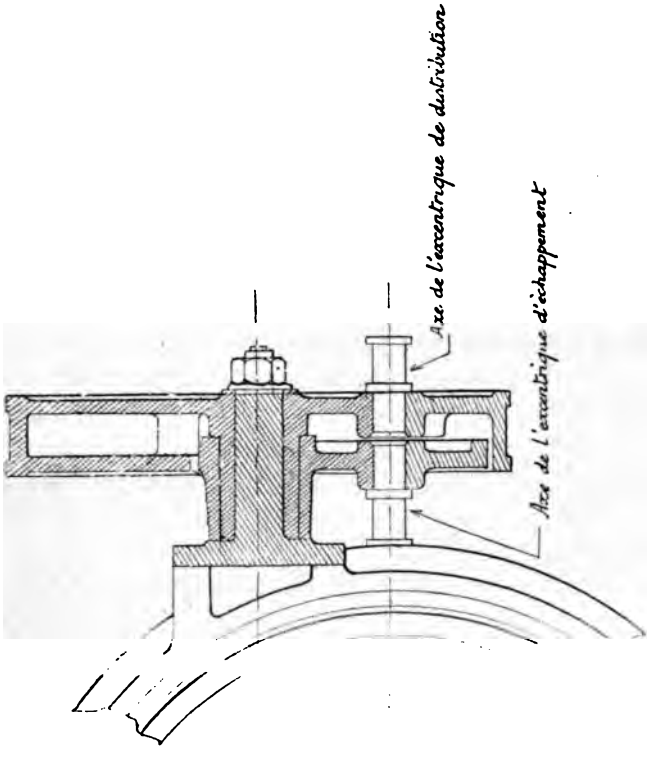


FIG. 15 ET 16. — MACHINES DE LA SOCIÉTÉ DE CONSTRUCTION DE LA MEUSE

sur sa glace. Les glaces des tiroirs sont aussi rapprochées que possible de l'axe du cylindre pour éviter les espaces nuisibles, et les lumières sont doubles, afin de réduire la course des tiroirs.

La poussée des tiges des tiroirs d'admission se fait par des talons à déclic armés d'une platine en acier trempé et placés à la partie supérieure des tiges. Les doigts de ces talons à déclic viennent, dans le mouvement de recul, buter sur leur chariot, et évitent ainsi un choc répété des talons sur les coulisseaux des tiges des tiroirs, en même temps que l'usure des platines. Le déclenchement des talons est commandé par le régulateur.

Le rappel des tiroirs est obtenu au moyen d'un piston à air constamment poussé de l'extérieur à l'intérieur par un ressort en spirale, dont on peut faire varier la tension en vissant ou dévissant le fond de la boîte qui le contient.

Chaque coulisseau de tige de tiroir porte deux prolongements à crochets destinés à ramener le tiroir à sa position de départ, dans le cas où, accidentellement, le ressort ne l'aurait pas conduit à fond de course.

Les tiroirs d'échappement, disposés de façon à éviter les espaces nuisibles, sont placés à la partie inférieure des cylindres, ce qui permet d'obtenir une purge complète des vapeurs condensées.

Ces tiroirs peuvent être commandés par un excentrique spécial ou par une came fixée à la tête de piston.

Le tuyau, réunissant les boîtes à tiroir d'échappement, est muni d'un joint de dilatation.

L'épure (figures 22-23) permet de voir les diverses phases de la distribution.

Les glissières sont planes, et la crosse est munie de coins de rattrapage.

Le graissage est assuré par des graisseurs Degremont, et le cylindre est muni d'un oléomètre Bourdon.

Le mouvement du condenseur est pris sur un boulon placé en arrière de la tête de bielle motrice.

Cette machine est fort bien construite. Le mécanisme de distribution nous semble un peu compliqué, et on peut se demander si les avantages des tiroirs plans, par rapport aux obturateurs tournants, le justifient.

Machine Farcot à quatre distributeurs à volant de 10 mètres

(Planches 24 à 29)

Ce magnifique spécimen de construction mécanique peut développer un travail de 500 à 1300 chevaux.

La machine horizontale à condensation a un cylindre de 900 millimètres de diamètre.

Le bâti à baïonnette, d'une seule pièce, pèse 19 000 kilogrammes. Les glissières sont cylindriques, et la crosse du piston est à rattrapage de jeu, grâce à un collier conique, qu'on peut serrer plus ou moins, et qui est placé entre la crosse et le patin.

La machine est lubrifiée à l'aide de graisseurs à gouttes.

Le volant peut être mis en mouvement, avant le démarrage, et dans le but de faciliter celui-ci, à l'aide d'un treuil agissant sur une couronne dentée dont le volant est muni. L'embrayage est produit par le poids du corps de l'homme qui fait la manœuvre.

Le cylindre est entouré d'une enveloppe où circule la vapeur avant d'entrer dans les cylindres. Les robinets d'admission étant dans les fonds, on a là aussi des surfaces à l'abri du refroidissement. L'enveloppe est rapportée. Le régulateur employé est du type Farcot, à bras et bielles croisés, aujourd'hui universellement apprécié. Ce régulateur permet en outre de mettre en marche, aussi progressivement, et d'arrêter aussi vite qu'on le désire. L'arrêt s'effectue en enlevant à la main le régulateur, au moyen d'un volant à main spécial, ce qui supprime toute introduction. L'arrêt est donc immédiat, la vapeur contenue dans l'enveloppe et dans le fond se trouvant isolée du cylindre, ce qui n'a pas lieu pour les machines qu'on arrête en fermant le robinet de prise de vapeur.

La disposition actuelle, qui diffère pour les grandes admissions du type primitif de déclic Farcot, fonctionne ainsi, comme on le verra :

Le mouvement continu d'oscillation, imprimé par la barre d'excentrique A au plateau *b* (voir la vue d'ensemble), est transmis par la bielle *c* au levier *d* (voir les détails de la distribution pour tout ce qui va suivre). Le levier *d* est fou sur l'extrémité de l'axe du tiroir d'admission; il porte à sa partie inférieure la pédale d'enclenchement F contamment sollicitée vers l'axe du tiroir, au moyen d'un ressort intérieur.

Sur le même axe du tiroir est calée une manivelle *g* sur laquelle agit le ressort de fermeture, et dont le moyeu présente à côté du levier D un grain d'acier *h* correspondant au grain *j* de la pédale F. On comprend aisément que le tiroir se trouvera entraîné ou non dans le mouvement d'oscillation du levier D, suivant que les grains d'acier *h* et *j* seront en prise ou non l'un avec l'autre.

Pour faire cesser cet entraînement, à un moment donné il suffit de forcer la pédale F à s'écarter de l'axe du tiroir, en neutralisant l'action du ressort intérieur qui tend constamment à l'en rapprocher.

Ce déclenchement est produit par deux cames en acier, K, K', placées à l'extrémité du support de la distribution et susceptibles de prendre diverses positions par les bielles I et I' (coupe AB) dépendant du régulateur. Les bosses excentrées de ces cames, marchant l'une vers l'autre, viennent se présenter plus ou moins tôt sous l'extrémité d'un appendice latéral au doigt *m* pour écarter cette pédale de l'axe du tiroir. La came K agit directement sur le doigt *m* pour

amener le déclenchement pendant l'aller du tiroir, c'est-à-dire, pour les petites introductions, jusque vers les 3,5/10 de la course du piston, et la came K produit, au contraire, le déclenchement pendant le retour du tiroir, depuis 3,5/10 environ jusqu'à 8/10 de la course du piston, en agissant sur le doigt mobile intérieur *n*.

Lors de l'aller du tiroir, ce doigt mobile intérieur *n* disparaît dans *m*, poussé par un plan incliné latéral de la came K des grandes introductions; il évite ainsi la bosse de cette came, qui empêcherait l'action de la première came K; par suite de la position à elle imposée par le régulateur, c'est le doigt intérieur *n* qui, repoussé brusquement de sa loge par un ressort, vient se présenter derrière la bosse de la came K pour déclencher à son tour, plus ou moins tôt, aux grandes introductions.

Les deux doigts *m* et *n* sont, comme les cames elles-mêmes, en acier d'excellente qualité, ce qui assure leur durée. Ils peuvent être remplacés très rapidement et à peu de frais, après plusieurs années de fonctionnement si besoin en est.

Un des principaux avantages de cette distribution sur celle exposée en 1878, résulte de ce que l'organe de déclenchement qui agit pour les grandes introductions ne fonctionne pas constamment. Il n'est mis en mouvement que lorsque la première came, celle des petites introductions, n'a pas suffi pour déclencher, de sorte que, dans la marche ordinaire et habituelle, le doigt intérieur *n* se transporte librement dans l'espace sans subir ou produire aucun frottement sur la bosse ou sur le flanc de la came K.

Un autre avantage de la disposition actuelle, plus important encore, résulte de ce fait que les efforts perturbateurs transmis sur le pendule par le déclic sont réduits, au minimum, les bosses des cames étant constituées à très faible pente de façon à neutraliser au moins en grande partie, ces efforts par le simple frottement des cames autour du support sur lequel elles jouent.

Cette machine permet l'introduction jusqu'aux 8/10 de la course. La disposition spéciale de l'une des cames empêche tout emportement de la machine en cas d'accident au régulateur. Car, en admettant que pour une cause quelconque, le régulateur s'arrête et tombe en bas de sa course, la machine au lieu de s'emporter s'arrête par la suppression d'introduction et prévient ainsi son conducteur; c'est là un résultat utile dans tous les cas et d'une importance capitale dans les applications aux éclairages électriques industriels; car une machine dynamo-électrique peut être détériorée en quelques instants si sa vitesse devient excessive par suite de l'emportement du moteur qui l'actionne.

Les conditions que M. Farcot s'est imposé dans cette distribution ont été réalisées avec un très petit nombre d'organes compacts, simples et robustes.

Les axes et manetons sont emmanchés à la presse hydraulique et l'étanchéité des garnitures des tiges des tiroirs est obtenue sans presse-étoupes par l'application de la tige en acier sur l'extrémité de la douille en bronze qui la supporte.

Le palier principal de la machine a été étudié spécialement en vue d'éviter les inconvénients des coussinets latéraux à guidage rectiligne. Ceux-ci, en effet, quel que soit leur bon fonctionnement au début, cessent d'être en contact avec l'arbre sur toute leur surface, quand celui-ci s'est déplacé verticalement par suite de l'usure même légère du coussinet inférieur.

Le serrage des coussinets latéraux a alors pour effet de les appliquer sur l'arbre à leur partie inférieure, mais il reste toujours à leur partie supérieure, un jeu qu'on ne peut racheter.

Dans le palier que nous décrivons (voir la coupe) les coquilles en bronze A des des coussinets latéraux portent sur leurs guides horizontaux, par les deux faces diamétralement opposées d'un cylindre dont le diamètre est égal à l'écartement des guides.

Une cale très rigide en acier B transmet aux coussinets la pression des vis de réglage *v*. — La cale *c* pouvant glisser librement sur le coussinet A, celui-ci s'incline de lui-même sous l'action des vis, à mesure que l'arbre se déplace verticalement et sa face concave reste toujours en contact avec l'arbre sur toute son étendue. La cale *c* se déplace par rapport au coussinet et le suit dans son inclinaison, grâce aux têtes sphériques des vis de réglage.

Dans ses nouvelles machines, M. Farcot combine, pour le palier principal, cette disposition des coussinets avec le graissage automatique appliqué au palier de bout d'arbre de la machine que nous décrivons, et qui déverse sur l'arbre un courant continu d'huile de graissage.

Le volant de cette machine étudié avec grand soin, pour obtenir un maximum de légèreté sans rien perdre de la rigidité, se compose d'une jante mince en fonte nervée de $1^{m},50$ de largeur, pesant 21 000 kilogrammes et fondue d'un seul jet puis séparée en quatre morceaux. Les seize bras sont en tôle d'acier rivée, de section elliptique variable depuis le moyeu octogonal qui les supporte jusqu'à la jante, et les tôles qui les composent sont faites chacune d'un seul coup de presse hydraulique ; ces bras rangés dans deux plans parallèles sont reliés deux par deux par un treillis léger empêchant toute flexion transversale.

Le graissage du cylindre, des boîtes à tiroir et des supports de leurs arbres est effectué à la fois, malgré les trois pressions différentes de ces points d'arrivée d'huile au moyen d'un seul oléomètre Bourdon à plusieurs tubes compte-gouttes ; ces trois graissages fonctionnent parfaitement sans se gêner l'un l'autre.

La tête de bielle de la grande machine est lubrifiée par le graisseur pendule Leneveu que nous avons déjà indiqué.

Toutes les matières sont de premier choix : les fontes, suivant des mélanges bien déterminés pour chaque emploi, sont essayées régulièrement et sortent toutes de la fonderie de l'usine Farcot, y compris le bâti pesant 19 000 kilogrammes d'un seul morceau. Toutes les pièces forgées sont en acier des premières qualités et de numéros de dureté appropriés à chaque fonction ; le manchon de

la manivelle et le tourillon de pied de bielle seuls ont été faits en fer de première qualité; en raison de la nature des efforts qu'ils supportent, ils sont cémentés et trempés, ce qui leur assure une grande dureté sans les rendre cassants; tous les axes et manetons sont trempés et rectifiés avec le plus grand soin ; les coussinets et bagues d'articulations sont en bronze phosphoreux.

Cette machine peut développer, dans d'excellentes conditions de consommation $5^k,5$, de 500 à 1000 chevaux. Elle peut en développer de 12 à 1300 au prix d'une consommation un peu plus grande par cheval, soit environ 7 kilogrammes d'après les essais faits par M. Farcot à l'usine de Saint Maur.

Il y a actuellement 15 machines de ce type en fonctionnement dont 5 en Égypte qui actionnent les fameuses pompes centrifuges de la Béhéra.

Machine Dyckhoff

(Planches 30-31)

Nous avons signalé une machine qui figure à l'exposition et qui a eu un succès de curiosité ; c'est la machine Stoppani construite par M. Dyckhoff, de Bar-le-Duc.

Cette machine à cylindre unique est à deux distributeurs, seulement chacun servant à l'admission, à la détente, à l'échappement, et cela, combiné avec une distribution à déclic.

Nous devons pour rendre hommage à la vérité, dire qu'une machine nous paraissant absolument analogue, de 50 chevaux à deux distributeurs et à déclic Wheelock, a été construite et brevetée en 1885 par M. de Quillacq et qu'elle a fonctionné pendant un an aux ateliers d'Anzin, mais à cause de la pression agissant sur les distributeurs, cette machine était peu sensible au régulateur et nécessitait de puissants rappels pour la fermeture des distributeurs, aussi cette application a-t-elle été abandonnée. Nous joignons le dessin de cette machine.

Machine de la Société de Haine-Saint-Pierre (Système Hoyois)

Cette machine, par ses dispositions originales, mérite d'être signalée quoique nous ne puissions pas donner de renseignements sur sa valeur pratique.

C'est une machine horizontale à cylindre de 500 × 1000 pouvant développer

un travail de 80 chevaux. Les organes d'admission sont deux soupapes placées au centre des plateaux des cylindres. Celle d'avant est donc concentrique à la tige de piston. Ces soupapes se meuvent dans deux boîtes à vapeur formant enveloppes des fonds de cylindre.

Le mouvement leur est donné par un système à déclic et est transmis par deux fortes pièces contournées symétriques, partant du milieu de la génératrice horitale supérieure du cylindre pour aller se recourber et attaquer les deux tiges dont chaque soupape est munie.

L'échappement se fait par deux tiroirs à grille, situés à la partie inférieure du cylindre et commandés par la crosse du piston.

Nous signalerons enfin trois machines à quatre distributeurs, horizontales à un seul cylindre.

1° Machine à quatre distributeurs à déclic Zimmermann et Woldmann exposé par la maison Cail et Halot de Bruxelles. C'est une machine de 20 chevaux, bien construite. La transmission du mouvement du régulateur est un peu compliquée.

2° Machine C.-H. Brown, de la section américaine. Cette machine a une grande vitesse de piston. Elle est fort bien exécutée et son déclic, par cames, est très simple et fonctionne sans bruit.

3° Machine de la Société Verviétoise. Cette machine est la transformation de la machine précédemment construite par cette société avec obturateurs Corliss en machine avec tiroirs plats à l'admission.

Ce sont également des cames qui, dans cette machine, donnent le mouvement aux obturateurs.

Machine d'extraction exposée par la Société de Marcinelle et Couillet

Cette belle machine est la troisième de ce type acquise par les houillères de Stiring (Lorraine).

Elle se compose de deux machines horizontales jumelles qui peuvent développer 1200 chevaux et peuvent extraire le charbon jusqu'à 1000 mètres de profondeur.

Les dimensions des cylindres sont

$1^m,060$ de diamètre
$1^m,600$ de course

Ils sont munis de soupapes permettant de battre contre vapeur.

La distribution de vapeur se fait par 4 soupapes équilibrées, placées deux à deux dans des chapelles latérales au cylindre.

Les soupapes supérieures servent à l'admission, les autres à l'échappement.

Le mécanisme de distribution est dû à M. Lelory, ingénieur des ateliers de Couillet. Il est commandé par deux poulies d'excentriques communiquant, par l'intermédiaire d'une coulisse de changement de marche, un mouvement d'oscillation à un plateau central fixé au cylindre et portant les 4 bielles de commande des soupapes.

Le degré de détente dépend de la position du régulateur qui peut se régler à l'aide d'un appareil à contre-poids manœuvrable à volonté pour satisfaire à toutes les exigences des machines d'extraction.

Cette machine est un très beau spécimen de l'application des détentes perfectionnées aux machines d'extraction.

Machine de MM. Jean et Peyrusson, de Lille

(Planches 32-33)

Cette machine à un seul cylindre est très intéressante par la simplicité de son déclic qui peut s'agrafer par son propre poids, sans ressort, ce qui permet à cette machine d'arriver à 75 et 80 tours.

Les tiroirs d'admission sont plats et les tiroirs d'échappement sont également plans et à grille. Leur manœuvre est caractéristique : ils sont liés à une même tige portant en deux points déterminés deux leviers d'équerre munis de galets au-dessous des glissières; la crosse de piston est munie d'une came d'attaque formée de deux parties inclinées symétriques par rapport à l'axe vertical de la crosse. Aux fins de course chaque face de la came vient attaquer le galet correspondant et manœuvre ainsi le tiroir d'échappement.

L'abaissement du galet ainsi produit le met en contact avec l'huile d'un godet, la came arrive d'abord tangentiellement au galet de sorte que ce fonctionnement se fait sans choc appréciable.

Cette machine, dont il existe un assez grand nombre d'exemplaires, a les dimensions suivantes :

Diamètre du cylindre. . .	$0^m,350$
Course.	$0^m,900$

Avec une pression de 5 kilogrammes à l'admission, cette machine développe 55 chevaux.

Le déclic est mû par un arbre intermédiaire situé au-dessus des glissières qui sont planes.

La crosse attaque la pompe du condenseur à l'aide de bielles et d'un levier formé de deux flasques en tôle. Le condenseur est situé dans le sous-sol, au-dessous de la machine, entre le cylindre et le palier.

Cette machine est bien exécutée et fonctionne très régulièrement.

MACHINES WOOLF

Machine Woolf à balancier de M. Windsor

M. Windsor expose une machine verticale à balancier à deux cylindres « Woolf » dite compound, à détente variable par le régulateur et à condensation.

M. Windsor a apporté à ce système tous les perfectionnements possibles, en modifiant la distribution et en appliquant un appareil à détente variable par le régulateur au lieu du papillon ; et de plus, on y a ajouté un nouveau tiroir distributeur, dit tiroir à compression pour le grand cylindre qui permet d'activer sensiblement la vitesse de ces moteurs et d'obtenir encore un rendement plus considérable.

La planche jointe donne le dessin de ce régulateur.

A. — Cylindre en bronze de l'appareil.

B. — Tuyau en cuivre mettant l'appareil en communication avec le vide du condenseur ; un robinet est placé sur son parcours ; à la partie inférieure du cylindre se trouve une grille percée de trous pour l'arrêt des corps étrangers en suspension dans l'eau ; au-dessous de cette grille, l'on aperçoit l'orifice d'un tuyau en communication avec les eaux du condenseur.

E. — Piston sans garnitures ayant une tige creuse, laquelle porte dans la partie inférieure quatre orifices égaux et symétriquement placés en regard d'un tiroir circulaire maintenu par un étui en bronze.

A la tige creuse du piston est fixée, vers la partie supérieure, une traverse en bronze reliée à la traverse inférieure O au moyen de deux tringles verticales g, g, g, g^2 ; et servant de guide à la douille H.

H. — Douille creuse en bronze reliée à la tringle de commande du régulateur, ayant un mouvement rectiligne ; elle est guidée dans la traverse G par une clavette fixe, elle porte deux rainures en hélice. Dans ces rainures passe une goupille en acier à laquelle le mouvement vertical de la douille H imprime le mouvement de rotation.

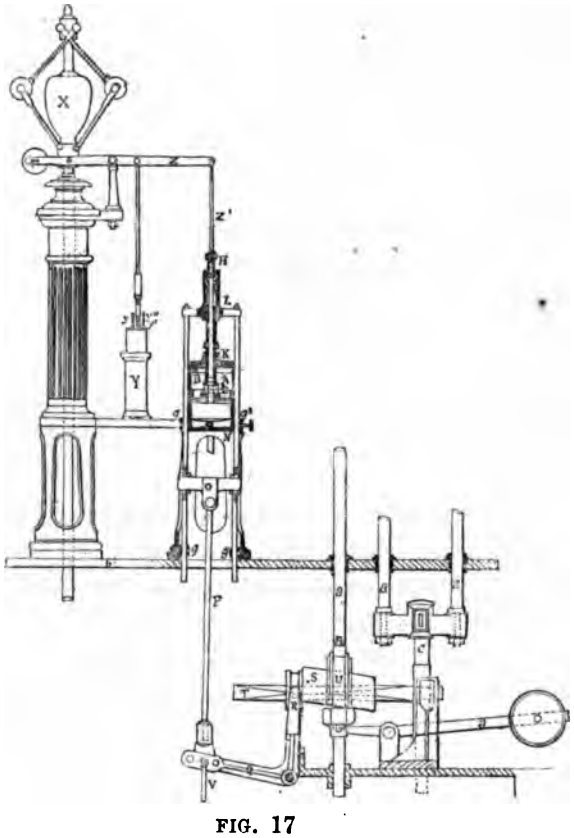


FIG. 17

K. — Plateau en bronze portant écrou pour joint.

L. — Ecrou à pans pour joints de la tige creuse du piston.

Dans le guidage g^3 passe une béquille pour arrêt de l'appareil à l'un des points de sa course.

N. — Socle en fonte portant l'appareil fixé sur la plaque de fondation.

O. — Traverse reliant l'appareil au levier Q au moyen de la bielle P.

P. — Bielle portant moufle de jonction avec taraudage pour faciliter le réglage.

Q. — Levier d'équerre commandant le coin.

R. — Collier fixé sur le coin S,

S. — Came ou coin en fonte à section rectangulaire pour la commande du tiroir de détente monté sur l'arbre T.

T. — Arbre de section rectangulaire excentré portant le coin S.

U. — Coussinet et cage du coin jonctionné à la tige de commande du tiroir de détente.

V. — Tige du contre-poids creux pour régler l'équilibre de l'appareil.

X. — Régulateur pendule conique à grande vitesse avec contre-poids et bras à fourche croisés dit régulateur Porter.

Y. — Contrôle du régulateur avec piston à huile et ressorts en hélice.

Y Y' Y'' — Petites vis de réglage appuyant sur une rondelle pour comprimer les ressorts du contrôle et le régler.

Z. — Levier à fourche portant collier en bronze et transmettant l'action du régulateur à l'appareil de détente par la tige Z'.

a. — Tige de commande du tiroir de détente.

a' a'. — Tiges de distribution.

b. — Plaque de fondation.

c. — Cage d'excentrique.

d. — Contre-poids équilibrant la tige du tiroir de détente.

Cet appareil à détente et le second tiroir sont simples, leur entretien est facile et ils ne se dérangent pas.

La machine de ce système exposée est de 120 chevaux ; elle a les dimensions suivantes :

Diamètre du grand cylindre	$0^m,740$
Diamètre du petit cylindre	$0^m,390$
Course du grand piston.	$1^m,680$
Course du petit piston	$1^m,2456$

Vitesse de régime 36 tours par minute.

Le volant de cette machine est construit en deux pièces, il a $5^m,500$ de diamètre et porte une jante pour la commande par une courroie de $0^m,650$ de largeur.

Le balancier est soutenu par un grand beffroi à quatre colonnes supprimant le sommier, tout en présentant la solidité et la rigidité désirables. Cette disposition permet d'installer ce système de moteur dans des bâtiments ordinaires, sans aucune attache aux murs, ce qui réduit sensiblement les premiers frais d'installation.

D'autres perfectionnements ont aussi été introduits dans ces moteurs, tels que l'adoption de paliers graisseurs automatiques pour supporter l'arbre de volant afin de permettre de marcher à de grandes vitesses avec sécurité ; — une disposition spéciale pour la construction de la bielle motrice avec chapes et cuivres mobiles inférieurs permettant le débrayage de cette bielle sans démonter le maneton de manivelle.

Enfin la machine est parfaitement équilibrée et tous les principaux organes de mouvement sont construits en acier.

Les cylindres sont rapportés dans une enveloppe de circulation de vapeur et cette enveloppe elle-même est revêtue d'une enveloppe en bois cerclée en cuivre et garnie de calorifuge.

C'est un excellent type de machine à balancier, d'un emploi courant dans l'industrie et très bien exécuté.

Nous n'avons pas à signaler les avantages des machines de ce type, ils sont bien connus.

Machine soufflante verticale de Cockerill

Cette machine est d'un type bien connu, car le spécimen exposé est le 152e construit.

La machine motrice située à la partie inférieure est une machine Woolf à condensation dont les pistons attaquent une même traverse qui va actionner le piston à air. Une bielle en retour de chaque côté va actionner un volant à droite et un volant à gauche de $7^m,240$ de diamètre et pesant 18000 kilogrammes chacun.

Le diamètre des cylindres à vapeur est de 850 et 1200, soit un rapport de 1,99 entre les volumes. La course commune est de $2^m,440$. La machine tournant à 15 tours développe 260 chevaux indiqués.

La distribution se fait par cames.

Ce type classique de machine soufflante est fort bien exécuté.

Machine Quéruel, construite par MM. Douane et Jobin

La machine motrice Quéruel construite par MM. Douane et Jobin est une machine Pilon à deux cylindres accolés et du fonctionnement Woolf à manivelles calées à 180°.

Le condenseur a sa pompe actionnée par un balancier prenant son mouvement sur la tige du grand cylindre.

Le bâti est bien établi, stable et cette machine de 150 chevaux à 3/10 d'admission à 6 kilogrammes occupe peu de place.

La poulie volant est en deux morceaux. L'arbre est en deux parties reliées par des plateaux boulonnés.

Les cylindres à vapeur, inégaux en diamètre et égaux en longueur, sont entourés d'une enveloppe de vapeur. Les deux cylindres sont séparés l'un de l'autre par une capacité où se meut le tiroir de transvasement ou tiroir intermédiaire qui est l'organe spécial de cette nouvelle machine. Le petit cylindre

porte sur sa face extérieure la boîte de distribution où se meut le tiroir d'admission initiale que nous devons décrire le premier.

Le tiroir initial est très simple ; il n'a pas, en effet, à commander et l'admission et l'échappement comme les autres tiroirs et, est, par ce fait, à l'abri de tous les inconvénients résultant de cette union désavantageuse. N'ayant à commander que l'admission, le calage de l'excentrique devient pour ainsi dire indifférent, d'où résulte l'avantage de pouvoir faire marcher le tiroir jusqu'à 75 et 80 pour 100 de la course, et, si ce tiroir porte une tuile du genre des tuiles Edwards, on peut l'arrêter par une butée fixe de manière à terminer l'admission à des points variant entre 0 et 70 % de la course. C'est ainsi qu'est cons-

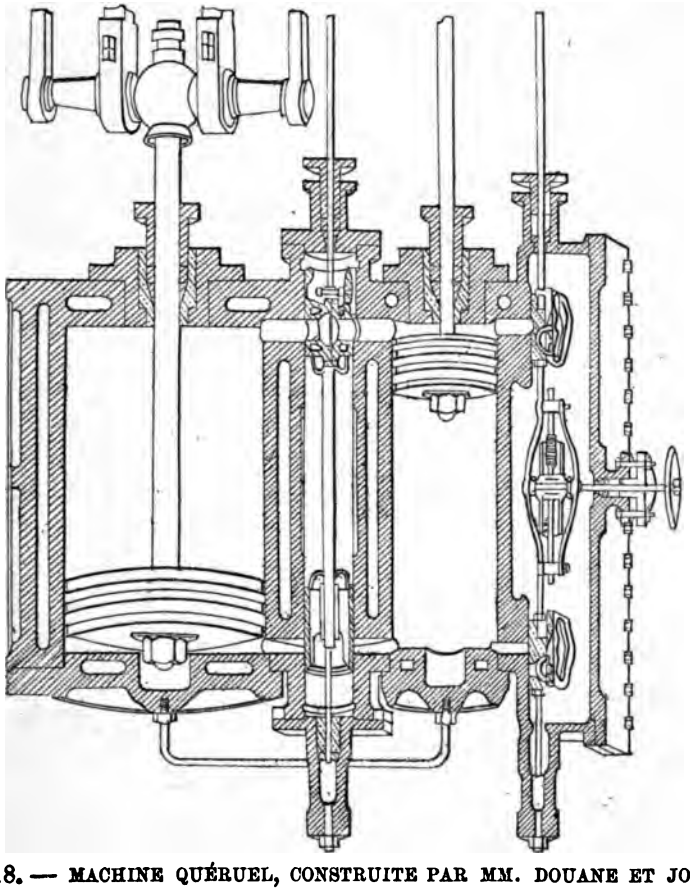


FIG. 18. — MACHINE QUÉRUEL, CONSTRUITE PAR MM. DOUANE ET JOBN

truit le tiroir d'admission, et l'inspection des diagrammes du petit cylindre de cette machine montre que l'admission est réglée par lui dans des conditions presque théoriques. Il ouvre, dès le début de la course, l'orifice en grand, et la pression sur le piston est presque instantanément celle de la boîte à vapeur. Au

point de détente, le coupage de la vapeur est fait aussi nettement que possible. Le tiroir intermédiaire est l'organe principal de la machine Quéruel ; il est disposé de telle sorte qu'avec une force modérée absorbée pour son fonctionnement, il donne néanmoins une grande ouverture de passage pour la vapeur à écouler entre les deux cylindres. Les orifices des deux cylindres correspondants sont en face l'un de l'autre ; ils sont très grands par rapport à la section des pistons et aboutissent à deux glaces absolument parallèles. C'est entre ces deux glaces que glisse le tiroir intermédiaire qui porte en face de chaque orifice, une ouverture semblable à chacun d'eux.

Ces ouvertures sont reliées l'une à l'autre par un petit canal qui traverse de part en part le tiroir intermédiaire. Ce dernier est divisé en deux parties distinctes, s'appuyant chacune sur la glace du cylindre sur laquelle elle doit opérer. Ces deux moitiés marchent du reste comme un entier étant enfermées dans le même cadre et commandées par le même mouvement.

Pour régler la pression de chacune des deux parties du tiroir sur leur glace respective et empêcher toute fuite de vapeur, le joint de séparation des deux moitiés est constitué au milieu du canal par une sorte de soufflet métallique, à l'intérieur duquel agit la vapeur en pression.

On voit que la force qui fait appuyer les deux parties du tiroir sur les glaces des cylindres varie avec la pression de vapeur, c'est-à-dire directement avec la cause qui donne plus ou moins d'importance aux fuites.

C'est dans cette disposition ingénieuse que réside le principal intérêt de la machine. La commande du tiroir intermédiaire est donnée par un excentrique calé sensiblement à 90° des manivelles et commandant en même temps que le transvasement des cylindres l'échappement au condenseur. Les deux fonctions s'accordent ensemble dans les meilleures conditions. Les rapports des sections des orifices des cylindres à celles de leurs pistons respectifs sont :

Introduction du petit cylindre	1/16
Echappement du petit cylindre	1/8
Introduction et échappement du grand cylindre. . . .	1/16

Ces orifices placés aux extrémités des cylindres sont en ligne droite et de petite longueur.

Cet arrangement présente le double avantage de ne donner aux espaces nuisibles qu'une faible capacité d'une part, et de présenter des passages courts et directs à la vapeur en circulation, ce qui n'en diminue pas d'une manière sensible la pression utile.

Plusieurs machines que nous décrivons plus loin, dans les machines à grande vitesse, appartiennent au type Woolf : la machine de la Société d'Oerlikon, la machine Brown, etc., avec manivelles à 180°, etc.

MACHINES COMPOUND

Machine compound de la Société Alsacienne de constructions mécaniques

(Planches 34-35)

Cette machine développe un travail de 250 chevaux à la vitesse de 75 tours par minute.

Les diamètres des cylindres sont de 400 à 600 millimètres avec une course de pistons commune de $1^m,200$, ce qui donne un rapport de 2,25 entre les volumes des cylindres.

La distribution est du système *Frikart* de Lille. Cette distribution que nous retrouverons à d'autres machines est un perfectionnement de la détente Corliss, permettant des admissions de vapeur variables de 0 à 75 %.

L'excentrique est calé avec une avance de 30°, la barre va attaquer un levier intermédiaire qui sert à compléter la course d'un plateau oscillant autour d'un axe fixé sur le cylindre; ce plateau actionne les 4 distributeurs au moyen de bielles d'attache à réglage.

Les épures montrent que les orifices d'entrée et de sortie de la vapeur sont ouverts en plein pour une course du piston égale à 1/20 de la course totale.

L'axe de l'obturateur d'admission porte une came d'enclenchement, reliée par une bielle au piston de rappel.

Le levier B fait partie d'un collier tournant fou sur les guides des tiges d'obturateurs et est attaqué par la bielle du plateau de distribution.

Ce levier B porte en outre un cliquet F, placé dans le plan de la came.

Ce cliquet F est commandé lui-même et reçoit l'action du régulateur de la façon suivante :

Une bielle G, partant d'un tourillon H sur la barre excentrique, est reliée par les leviers J, K, et les bielles L, M, aux cliquets F ; ceux-ci, commandés par les leviers L et par les bielles L et M, décrivent une courbe qui n'est jamais concentrique à l'axe de l'obturateur et permet par conséquent le déclenchement pour toutes les positions de la manivelle.

Le régulateur, relié par la bielle N au levier K, agit ainsi sur la courbe

décrite par l'arête du cliquet F, ce qui permet d'obtenir tous les degrés d'admission dans de bonnes conditions et avec un excentrique unique.

Cette machine a un cylindre à enveloppe de vapeur avec tube rapporté à chaud, sans mastic, ni bague.

La pompe à air, à double effet, située en-dessous de la machine, n'a que deux clapets de refoulement. Il n'y pas de clapets d'aspiration, la pompe à air est en communication directe avec le condenseur par une série d'ouvertures rectangulaires, pratiquées au milieu de sa longueur.

Le réservoir intermédiaire est placé entre les cylindres et est à enveloppe chauffée par la vapeur directe.

La machine est disposée de façon à pouvoir marcher avec ou sans condensation et avec le petit cylindre seul ; l'échappement se fait dans ce cas directement au condenseur et sans passer par le grand cylindre.

Le condenseur est actionné par une bielle mise en mouvement par le boulon de crosse du piston du grand cylindre.

La poulie volant est en 2 morceaux et porte 8 gorges pour câbles.

Les glissières ont une forme semi-circulaire. On peut remarquer les grandes dimensions des paliers de cette machine dont l'exécution est irréprochable, et si la distribution Frikart tient ce qu'elle promet, cette machine est un des types à recommander.

Machine compound de la Maison Escher Wyss et Cie, de Zurich

(Planches 36-37 et 36-37 *bis*)

Cette machine développe 150 chevaux à 80 tours avec des cylindres de $0^m,550$ et $0^m,370$, la course des pistons est de $0^m,800$.

La distribution Frikart semblable à celle que nous venons de décrire est réglée avec assez de compression pour permettre la vitesse de 3 à 4 mètres pour le piston, vitesse qu'on n'obtenait pas avec les déclics employés précédemment. Cette distribution est moins compliquée que la distribution Corliss de 1879 et paraît devoir être recommandée.

Cette machine a un réservoir auxiliaire avec réchauffeur tubulaire à vapeur directe.

La vapeur du cylindre à haute pression, avant d'aller au cylindre à basse pression, passe dans un faisceau entouré de vapeur vive de la chaudière et elle s'y réchauffe, ce moyen a été recommandé par M. Hirn.

Les espaces morts de cette machine sont de 2 à 3 % du volume du cylindre qui est à enveloppe de vapeur et à tube rapporté.

Le condenseur de cette machine est en-dessous. Les glissières sont cylindriques et la poulie volant en deux morceaux porte 8 gorges pour les câbles.

Machine horizontale compound à deux cylindres superposés de la Société Alsacienne

(Planches 38-39)

La machine exposée par la Société alsacienne est de la force de 40 chevaux ses dimensions principales sont les suivantes :

Diamètres des cylindres : 175 sur 350 millimètres.

Course des pistons : 650 millimètres.

Vitesse : 90 tours à la minute.

Soit un rapport de 4 entre les volumes des cylindres.

Les deux cylindres à vapeur de cette machine sont pourvus chacun d'une chemise de vapeur. Le petit cylindre est placé obliquement sur le grand de telle sorte que les axes des deux cylindres passent par le centre de l'arbre moteur.

En projection horizontale, les axes sont déplacés de façon que les deux bielles motrices puissent passer l'une à côté de l'autre.

Les cylindres sont placés sur un fort bâti, portant, venu de fonte, le palier de l'arbre moteur. Chaque piston est guidé par un système de quatre glissières.

La distribution de vapeur est très simple :

Deux tiroirs superposés, système *Ryder* au petit cylindre et un seul tiroir au grand cylindre à fort recouvrement.

Le condenseur est vertical et conduit par une contre manivelle. Le volant est en deux parties.

Les avantages principaux de ce type de machines sont le faible emplacement qu'elles occupent et qui n'est pas supérieur à celui d'une machine à un cylindre, la simplicité de leur distribution, leur faible consommation de vapeur (environ 8 kilogrammes).

Le côté contestable de cette machine est la série d'engrenages pour la transmission du double mouvement de distribution. Il y a là une cause d'irrégularités dans le fonctionnement que la pratique viendra très probablement constater.

En résumé cette machine est très intéressante et mérite de la part des ingénieurs une étude attentive.

Machine à vapeur demi-fixe compound de 60 chevaux de la Société Alsacienne

(Planches 40-41)

Cette machine se compose de deux parties :

1° Le moteur à vapeur à deux cylindres placé à la partie inférieure sur un fort châssis en fonte.

2° La chaudière du type des chaudières de locomotives, posée sur ce châssis *et le chargeant* suffisamment pour qu'il soit inutile de le fixer sur le sol.

Ce châssis est néanmoins pourvu de trous de boulons de fondations pour le cas où l'on aurait à se servir de la machine sans sa chaudière.

Les dimensions principales de la machine exposée sont :

Surface de chauffe	foyer.	6,030
—	tubes.	37,300
—	totale	43,330
Surface de grille.		1,000
Diamètre du cylindre	d'admission	0,260
—	de détente.	0,400
Rapport des volumes		2,37
Course des pistons		0,500
Nombre de tours.		135

Les deux cylindres à vapeur sont placés dans une caisse portant, venue de fonte, les deux boîtes à vapeur, les canaux d'entrée de communication et de sortie de vapeur. L'intervalle entre chaque cylindre et les parois de cette caisse forme chemise de vapeur.

Ces chemises sont chauffées par la vapeur à haute pression de la chaudière. Un tuyau spécial permet d'envoyer en outre de la vapeur directe au grand cylindre pour faciliter le démarrage.

Les pistons à vapeur, en fonte, sont pourvus chacun de deux segments élastiques. Les crosses de piston portent chacune deux patins guidés par un système de quatre glissières plates en acier. Les bielles motrices, à chape, sont pourvues d'un système de graissage à lécheur emportant à chaque coup de piston la goutte d'huile délivrée par des graisseurs à compte-gouttes dont on peut régler le débit à volonté.

L'arbre moteur en acier porte deux coudes à angles droits, deux poulies volants sont coulées aux deux extrémités de cet arbre, il est porté dans trois paliers venus de fonte au châssis formant bâti.

Les boîtes à vapeur sont placées extérieurement aux cylindres. Celle du petit cylindre renferme deux tiroirs superposés du système bien connu de Ryder. Les surfaces de contact des deux tiroirs sont cylindriques, de sorte qu'un simple déplacement du tiroir trapézoïdal de détente sur son axe, suffit pour faire varier l'admission de vapeur de 0 à 80 % de la course du piston.

Le grand cylindre n'a qu'un seul tiroir, à fort recouvrement, admettant la vapeur pendant 50 à 60 % de sa course et en même temps une forte compression et un échappement anticipé assez notable. Le régulateur très énergique agit par une disposition très simple sur le tiroir de détente, produisant un déplacement angulaire de ce dernier lorsque la charge vient à varier.

Ces machines se construisent souvent à condensation ; dans ce cas, la tige du

piston du grand cylindre sort à l'arrière et conduit le plongeur d'une pompe à air à simple effet placée en prolongement du cylindre.

Cette machine bien construite occupe peu de place tout en étant d'un accès très facile pour l'entretien et les réparations.

Machines à vapeur exposées par la Maison Biétrix

(Planches 42 à 45)

La Maison Biétrix construisit sa première machine à distributeur rotatif en 1884, sa force était de 40 chevaux. Après de nombreux essais dans son atelier, elle a été vendue aux forges et aciéries de la marine et des chemins de fer montée à leur usine du Boucau, en juin 1884, où elle a toujours fonctionné. Depuis cette époque, toutes les machines à vapeur de 10 à 300 chevaux qui ont été construites sont à distributeur rotatif.

La machine motrice de la galerie des machines, à l'Exposition, est de 150 chevaux et marche à 110 tours; elle est compound à 2 cylindres accolés et à 2 distributeurs. La maison Biétrix construit actuellement ces machines avec un seul distributeur.

Cette machine a son condenseur en tandem sur le grand cylindre. Elle est munie du graisseur oléomètre Bourdon. Les glissières sont cylindriques, le boulon de crosse est à graissage central. Les plateaux manivelles sont ajustés et rivés. Il y a deux volants d'un seul morceau pouvant recevoir des courroies.

L'organe de distribution est unique, c'est un robinet muni d'ouvertures et de cloisons convenablement disposées, il est animé d'un mouvement de rotation uniforme et fait le même nombre de tours que l'arbre moteur. Il est légèrement conique pour pouvoir rattraper le jeu, et la vapeur le tient ainsi constamment appuyé contre une butée extérieure à réglage facile; il n'y a donc aucun frottement autre que celui des deux presse-étoupes traversés par l'arbre de faible diamètre portant le robinet et le frottement de la butée. Il est à remarquer que la pression de vapeur tend toujours à décoller le robinet dans lequel il tourne, c'est ce qui explique qu'il n'y ait pas de tendance au grippage. Après quelques jours de marche, le robinet a pris un peu de jeu, il faut serrer légèrement la butée jusqu'à ce qu'en faisant tourner le robinet à la main on éprouve une légère résistance; on répète cette opération deux ou trois fois et à partir de ce moment aucune usure appréciable ne se produit. Le robinet est commandé par deux roues

héliçoïdes de même diamètre, dont l'une est fixée sur l'arbre moteur et l'autre sur l'arbre du robinet prolongé. Le robinet porte, du côté de son plus petit diamètre, une partie cylindrique percée de deux petites fenêtres opposées, par lesquelles entre la vapeur; sur cette partie cylindrique est emmanché, à frottement doux, un boisseau muni également de deux fenêtres opposées mais plus larges. On règle la distribution en modifiant l'orientation du boisseau soit à la main, soit par un régulateur.

Nous avons dit que la maison Biétrix exposait un de ces distributeurs en bon état après quatre ans de service. Il est cependant à craindre qu'en cas de fuite de vapeur le métal ne vienne à se ronger assez rapidement.

Nous allons décrire la disposition toute particulière, permettant au régulateur d'agir sur le boisseau du robinet et par conséquent sur la détente; elle est très ntéressante :

A la partie centrale mobile d'un régulateur à force centrifuge sont fixés deux disques horizontaux AA, (pl.44-45), distants l'un de l'autre de 10 centimètres environ, tournant avec le régulateur et montant ou descendant suivant que la vitesse augmente ou diminue. Entre ces disques se trouve un galet B, vertical, garni de cuir, de 10 centimètres de diamètre, que les disques font tourner par frottement dans un sens ou dans l'autre, suivant qu'ils tendent à monter ou à descendre. Ce petit galet en tournant agit sur la détente. Cette disposition, jusqu'ici, ne présente rien de particulier; elle a été souvent essayée et toujours promptement abandonnée; les machines à vapeur munies de cet appareil, s'emballent, se ralentissent et ne cessent d'avoir des oscillations nombreuses. Il est nécessaire que le galet puisse monter et descendre et suivre le mouvement que le changement de vitesse tend à donner à la masse mobile du régulateur.

Le galet commande la vis C, par l'intermédiaire d'un petit pignon conduisant la roue en bronze D à denture intérieure qui, elle même, conduit la vis par l'intermédiaire de deux petits pignons d'angle. Le tout est porté par une boîte en bronze F reposant sur la tête de la vis, montant et descendant avec elle, mais que deux petits guides empêchent de tourner.

La vis s'engage dans l'écrou fixe G, et se prolonge par une tige qui traverse un presse-étoupes, pénètre dans la boîte de distribution et conduit le boisseau de détente H par la vis I : en L cette tige est interrompue, elle porte un petit manchon creux qui lui permet de monter et de descendre, tout en entraînant la vis dans son mouvement de rotation. C'est un mouvement mécanique analogue à celui de la commande Meyer, le fonctionnement de l'appareil est facile à comprendre : si la vitesse augmente, le régulateur tend à monter ; le disque inférieur vient toucher le galet et le fait tourner ; lui-même entraîne la vis, qui modifie la position du boisseau de détente; mais la vis, en

tournant, monte, et avec, le galet qui prend la position convenant à la vitesse momentanée du régulateur.

Le calcul des divers organes est facile ; on se donne l'écart maximum de vitesse que l'on peut accepter, 2, 3, 4 % ; on en déduit la course du régulateur correspondant ; c'est généralement 2 à 3 centimètres. Il n'y a plus qu'à calculer le diamètre des divers organes et le pas de la vis, de façon que, lorsque la vis aura monté des 2 ou 3 centimètres prévus, le boisseau de détente ferme entièrement l'introduction.

La régularité, ainsi obtenue, est suffisante dans la plupart des cas, mais, lorsque les machines doivent conduire des dynamos pour l'éclairage électrique, on emploie un artifice qui permet d'augmenter l'introduction de la vapeur dans la machine, sans que sa marche se ralentisse en rien, car c'est lorsque la dynamo absorbe le plus de force qu'il convient de maintenir et même d'augmenter sa vitesse, si l'on veut que l'intensité de l'éclairage ne baisse pas. Pour cela, on peut relever à la main, par un écrou P, la vis portant le galet et tout l'appareil de réglage ; les boules du régulateur se trouvent ainsi écartées sans avoir diminué l'introduction ; cette addition n'est utile que pour la conduite d'éclairages électriques importants.

Quant au régulateur, il est à quatre boules ; chaque boule a la forme d'un galet circulaire évidé sur les trois quarts de sa surface, le dernier quart étant chargé de plomb, la partie évidée porte des dents qui engrènent avec une crémaillère circulaire creuse occupant le centre de l'appareil et tournant avec lui ; elle est elle-même portée par un arbre vertical fixe. Le tout est enfermé dans une boîte circulaire ; des nervures intérieures reçoivent les axes des quatre galets. Lorsque la vitesse augmente, les galets, sous l'action de la force centrifuge, tendent à tourner autour de leur axe : mais, comme ils engrènent avec la crémaillère centrale, ils soulèvent tout l'appareil, qui joue ce rôle de contre-poids.

Ces régulateurs sont très sensibles et très puissants.

Nous joignons le dessin de la machine motrice à deux distributeurs, le dessin de la machine compound à un distributeur et le dessin de la machine compound verticale à un distributeur, ainsi que celui de détail du régulateur et du distributeur.

Ce distributeur, simple et ingénieux, qui est connu depuis longtemps, montre après les divers insuccès dont il a été jadis l'objet, qu'avec de bons procédés de construction et des applications bien étudiées, ont peut faire entrer bien des conceptions théoriques dans la pratique courante.

Nous donnons ci-dessous le tableau des résultats d'essais faits sur une machine demi-fixe compound en tandem, à distributeur rotatif, à haute pression sans condensation, installée à la manufacture nationale d'armes de Saint-Étienne, et dont les dimensions principales sont les suivantes (pl. 42-43) :

Diamètre des cylindres	200 m/m et	325 m/m
Course commune		500 «
Introduction variable par le régulateur . .	de 4 à	25 %
Pression d'admission		12 kilos
Rapport des volumes		2,64
Durée de l'essai	3 h.	4 h.
Eau totale injectée dans la chaudière .	2k,135	3k,400
Charbon brut consommé	252 k.	400 k.
Cendres	14 k.	21 k.
Pression	12 k.	12 k.
Nombre de tours (moyenne du compteur)	128,5	128,5
Charge au frein (long. du levier 2m,500).	160	190
Chevaux effectifs sur l'arbre des volants.	71,5	85,2
Eau consommée par cheval-heure effectif	9k,93	10 k.
» vaporisée par kil. de charbon brut .	8k,46	8k,5
» » » » pur .	8k,90	8k,96
Charbon brut consommé par cheval-heure effectif	1k,170	1,k175
Charbon pur consommé par cheval-heure effectif	1k,108	1k,110
Eau vaporisée par heure et m² de surface de chauffe	11k,700	14k,200
Charbon brûlé par décimètre carré de surface de grille	0k,560	0k,666

Machine compound de 200 chevaux de la société des Anciens établissements Cail

Les conditions d'établissement sont :

Force en chevaux sur l'arbre....	200
Pression absolue à l'introduction	7 kil.
Nombre de tours.....	100
Vitesse du piston..... ..	2m,333
Admission totale rapportée au cylindre à basse pression B. P.....	0,12
Diamètre du cylindre H. P....	0m,435
» » B. P.....	0 ,700
Course des pistons.	0 ,700
Surface du cylindre H. P.	1480c2,20
» » B. P.....	3848 ,50
Volume du cylindre H. P.	104d3,034
» » B. P.....	269d3,395

Rapport des volumes.....	2 ,589
Admission au cylindre H. P.....	0 ,3107
Pression moyenne au cylindre H. P.....	2^k,948
» finale » H. P...	2 ,1749
» au réservoir.....	1 ,770
» totale sur le cylindre H. P.	4381 kil.
Travail théorique sur le cylindre H. P.	136 ch. 3076
Admission au cylindre B. P..	0,3862
Pression moyenne au cylindre B. P.....	1^k,1275
» finale »	0 ,683
» totale »	4339^k,18
Travail théorique du cylindre B. P..... ...	134 ch. 99
» total »	271 ch. 30
Travail indiqué sur les pistons, 271,30 × 0,97.	263 ch.
Coefficient du travail indiqué $\frac{200}{263}$	0,76
Diamètre du volant.....	3^m,00
Vitesse à la circonférence.....	15 ,708
Effort tangentiel pour une force de 200 chev..	954^k
Pompe à air à simple effet { Diamètre.....	0 ,450
Pompe à air à simple effet { Course.....	0 ,350
Nombre de coups de piston par minute	100
Volume engendré par coup de piston.....	53^{d3},650
Régulateur, nombre de tours..... .	225

L'ensemble de cette machine verticale est représenté, planches 46-47.

Les cylindres sont montés sur de fortes colonnes en fonte, entretoisées par des croisillons de même métal. Ces colonnes sont solidement fixées sur un socle en fonte portant les cages des paliers de l'arbre moteur.

Les cylindres sont fondus d'une seule pièce avec les enveloppes de vapeur, le réservoir intermédiaire et les boîtes à tiroirs.

La disposition donnée aux enveloppes de vapeur et au réservoir intermédiaire permet de réchauffer les deux cylindres, afin d'empêcher la condensation de la vapeur, surtout dans le cylindre à basse pression.

Pour chaque cylindre, deux paires de glissières en acier guident les têtes des pistons.

Ces glissières sont fixées aux cylindres par des pattes venues de fonte, et aux croisillons par des supports permettant un démontage facile. Ce sont ces supports *en fonte* pour les glissières qui me semblent constituer le point critiquable de cette machine.

L'arbre manivelle en acier porte, à l'une de ses extrémités, le volant en porte à faux, et de l'autre côté il commande le régulateur. Les manivelles sont munies de contre-poids équilibrant les pièces en mouvement. Le centre de gravité du système composé de l'arbre, de ses contre-poids et du volant tombe sur l'axe du palier d'extrémité qui a des dimensions telles que la pression par centimètre carré n'est pas supérieure à 10 kilogrammes.

Cette distribution, adoptée pour le petit cylindre, a pour but de donner aux orifices d'admission de grandes dimensions nécessaires pour les machines marchant à cette vitesse, tout en réduisant, le plus possible, les dimensions des tiroirs; d'équilibrer les tiroirs de détente afin de les rendre sensibles à l'action du régulateur; d'obtenir, dans une limite très étendue, les variations de puissance de la machine, tout en conservant la détente sous la dépendance du régulateur.

Ces dispositions sont les suivantes :

La vapeur, arrivant dans la boîte à tiroirs A (fig. 3, pl. 46-47), est distribuée par un ou plusieurs orifices *a a*, débouchant dans un conduit circulaire *b b*, pratiqué dans le tiroir de distribution B. Le conduit *b* amène la vapeur sur la glace du cylindre, la distribution se faisant soit par un tiroir plan ordinaire, soit par un tiroir cylindrique. La détente est obtenue à l'aide de tuileaux [1] C cylindriques, à arêtes héliçoïdales, comme dans la distribution Ryder.

Ces tuileaux peuvent être animés, sous l'action du régulateur R, d'un mouvement de rotation décrit plus bas, et qui permet de découvrir les orifices *a a*, également hélicoïdaux, pendant une fraction plus ou moins grande de la course.

Afin de diminuer les dimensions des pièces, et la distance entre les axes des tiroirs et l'axe du cylindre, le tiroir de distribution est conduit par deux tiges latérales *c*, *c*, assemblées par une traverse *d* qui conduit l'excentrique de distribution.

La disposition du conduit circulaire *b*, dans lequel viennent déboucher sur le pourtour de la glace cylindrique deux ou plusieurs orifices, donne de très grandes sections de passage pour la vapeur, pour un diamètre relativement faible, et, par suite, les dimensions des tiroirs peuvent être assez petites pour de grands orifices.

On voit aussi que les tuileaux cylindriques, à arêtes héliçoïdales G, sont équilibrés, et qu'ils n'offrent aux mouvements de rotation et au mouvement rectiligne alternatif d'autre résistance que le frottement de leur surface extérieure sur la glace cylindrique du tiroir de distribution; ces tuileaux peuvent donc être facilement déplacés par l'action du régulateur.

Cette action est transmise à la tige *r*, sur laquelle sont calés les tuileaux, par un système de leviers et de bielle à joints articulés, d'ailleurs employés dans des machines semblables; mais le dispositif employé pour faire varier à la main les positions angulaires des tuileaux de descente est nouveau.

On remarquera d'abord que l'action automatique du régulateur sur les tuileaux est forcément limitée à un certain angle, qui, tout en permettant des variations d'admission étendues, ne suffirait pas cependant si la puissance

1 Ces tuiles ou tuileaux sont des plaques de détente qui glissent sur le dos du tiroir d'admission.

de la machine devait varier dans des limites très grandes. — On a donc été amené à adopter plusieurs positions des tuileaux de détente, telles que pour la machine de 200 chevaux, par exemple: le régulateur exerce son action automatique par des admissions variant de 0 à $\frac{2}{10}$, ce qui correspondra à une puissance limitée à 40 chevaux, travail développé à l'Exposition par cette machine motrice; puis par un changement de position angulaire, l'admission pourra varier de $\frac{1}{10}$ à $\frac{5}{10}$ pour donner une plus grande puissance, l'admission pour la puissance normale de 200 chevaux à 100 tours étant de $\frac{3}{10}$ environ pour le cylindre à haute pression.

Pour obtenir ce résultat, la tige *r* (fig. 3), tourne à l'aide d'un levier *l*, muni d'un verrou *n*, qui s'enclenche dans les crans 1, 2, 3, pratiqués sur la douille du levier *o* commandé par le régulateur à l'aide de la bielle S.

Le levier *o* est fou sur la tige du tiroir, et le verrou *n* seul le rend solidaire de cette tige.

Le levier *l* étant au cran 2, par exemple, le levier *o* se trouvera enclenché, et la détente sera sous l'influence du régulateur pour des admissions variant de 0 à $\frac{2}{10}$, les positions respectives des tuileaux et des orifices ayant été réglées au préalable pour obtenir ces différentes admissions pour des positions angulaires variant dans les limites déterminées par le cran 2.

Pour la distribution du grand cylindre, on a adopté deux tiroirs plans ordinaires ayant double orifice d'admission et d'échappement, afin de diminuer la course de l'excentrique et d'augmenter les ouvertures des orifices, surtout au commencement de la course du piston.

Le prolongement de la tige du tiroir coulisse dans un guide carré qui l'empêche de tourner, et est commandé par l'excentrique à l'aide d'un tourillon placé sur le prolongement de la tige du piston.

Cette disposition permet d'augmenter la portée du palier afin de donner une surface suffisante pour un bon graissage.

Le régulateur isochrone est du sytème *Andrade*, et commande directement l'admission, comme nous venons de le voir; de plus, il permet de faire varier le nombre de tours de la machine par le simple déplacement de son contre-poids mobile.

Pour les deux cylindres, les orifices se trouvent placés aux extrémités, de façon à diminuer les espaces nuisibles.

Les pistons sont en acier creux avec segments maintenus par quatre ressorts.

Condensation. — L'échappement du cylindre à basse pression se fait dans un tuyau vertical en cuivre rouge qui aboutit au condenseur placé dans le bâti même de la machine.

L'injection d'eau froide se fait par deux tuyaux, l'un de petit diamètre, placé

verticalement au sommet du tuyau d'échappement, l'autre plus gros, horizontal, placé à la jonction de ce tuyau avec le bâti.

La pompe à air, à simple effet, reçoit son mouvement d'un balancier actionné par la tête du piston du petit cylindre; son piston plein se termine légèrement en pointe.

Les clapets multiples d'aspiration et de refoulement sont métalliques.

Le volant en fonte est en deux morceaux; la machine a son mouvement graissé par des godets à gouttes visibles, et les cylindres par un oléomètre.

Machines Davey, Paxman et Cie

(Planches 48-49)

La maison Davey-Paxman a un type spécial de machine qui figure soit à son exposition particulière, soit à la station d'électricité Gramme.

La plus importante des machines de cette station que nous allons décrire est une machine couplée compound à bâti à baïonnette de 360 chevaux, chaque bâti venu de fonte d'une seule pièce forme glissière cylindrique et palier pour l'arbre intermédiaire et est boulonné au cylindre.

Les dimensions principales sont :

Diamètre du cylindre à haute pression. . .	$0^m,538$
— — basse pression. . .	$0,^m889$
Course commune.	$1^m,220$
Distance d'axe en axe.	$3^m,354$

Sur l'arbre intermédiaire sont placés deux volants ayant chacun un diamètre de $4^m,268$ et $0^m,457$ de largeur de jante, le poids de chacun de ces volants est de sept tonnes et demie. Avec une pression de 8 kilogrammes aux générateurs et à la vitesse moyenne de 65 tours par minute, cette machine développe une puissance sur l'arbre de 350 chevaux qui sont utilisés à entraîner deux dynamos Gramme de 240 volts et 900 ampères pour le service des fontaines lumineuses et des lustres centraux de la Galerie des machines.

Cette machine, ainsi que toutes les autres exposées par MM. Davey et Paxman, est munie du système de détente automatique et du régulateur variable de M. Paxman, spécialement appropriés aux services d'éclairages électriques, pour le bon fonctionnement desquels il est de toute nécessité que le moteur ait une vitesse rigoureusement constante sous des charges variables.

Il se compose d'un tiroir plan ordinaire, de distribution dont les lumières se représentent successivement à des conduits pratiqués dans un diaphragme sur lequel coulisse le tiroir de détente, celui-ci est relié à une coulisse suspendue par une bielle pendante aux leviers du régulateur et actionnée par deux excentriques. Les excentriques sont à courses inégales, celui du haut permettant une admission des 5/8 de la course du piston, tandis que celui du bas coupe totalement la vapeur ; de cette façon la durée de l'admission à chaque demi-révolution dépend de la position de la coulisse qui est commandée directement par le régulateur.

Les ouvertures dans le tuileau sont doubles, de la sorte la course du tiroir de détente est très réduite, ce qui augmente la sensibilité du système.

Ce dispositif a le grand avantage de permettre une admission variable de 0 à 5/8 *avec une avance constante.*

On peut reprocher à ce dispositif d'employer trois excentriques, ce qui ne doit pas être sans inconvénients, non plus que la transmission du mouvement au régulateur qui se fait par une série d'engrenages.

Il y a en outre dans la station Gramme deux autres machines compound avec la détente que nous avons décrite au petit cylindre.

Les principales dimensions de la première sont :

Diamètre du cylindre HP. . . .	$0^m,470$
— — BP. . . .	$0^m,724$
Course commune.	$0^m,699$
Rapport des volumes	$2^m,370$

Les cylindres sont accolés et montés sur un bâti à poutrelle formé de plusieurs parties assemblées et boulonnées, ce qui est très avantageux pour le transport dans les pays éloignés.

La vitesse de cette machine est de 95 tours par minute et elle développe, avec 8 kilogrammes de pression aux générateurs, 250 chevaux absorbés par deux dynamos Gramme de 220 volts et 450 ampères qui alimentent les lampes à incandescence du Dôme central.

Les principales dimensions de la deuxième sont :

Diamètre du cylindre HP. . . .	$0^m,324$
— — BP. . . .	$0^m,508$
Rapport des volumes	$2^m,470$
Course commune.	$0^m,610$

Cette machine, avec 8 kilogrammes de pression et une vitesse de 105 tours, développe 125 chevaux utilisés par deux dynamos Gramme de 220 volts et 250 ampères qui alimentent 12 lampes des grands lustres de la Galerie des machines.

Nous donnons les résultats des essais suivants communiqués par la maison Davey et Paxman et faits sur une machine compound de 100 chevaux sans condensation.

Durée des essais	5h42'
Nombre de tours.	35550
Charbon brûlé	725k
Poids de vapeur consommé par la machine. .	6833k
Kilogrammètres indiqués.	173 millions.
Nombre de diagrammes indiqués.	68
Pression moyenne de la chaudière.	7k,520
Nombre de tours par minute (moyenne). . .	103,9
Chevaux indiqués au petit cylindre (moyenne).	55,3
— — grand — — .	55,7
Total.	111,0
Poids de vapeur consommé par cheval indiqué.	10k,8

Ces diverses machines ont leur mouvement lubrifié à la graisse. La vapeur est graissée à son arrivée au petit cylindre par un graisseur continu Paxman.

Machine compound tandem de M. Windsor

(Planches 48-49)

Cette machine est à détente variable par le régulateur et à condensation ; sa puissance est de 400 chevaux. Le grand cylindre est en tandem derrière le petit cylindre.

Les dimensions principales sont :

Cylindre HP, diamètre.	0,520
— BP, —	0,900
Course commune des pistons.	1,250
Rapport des volumes.	3
Tours du volant par minute.	60
Volant, diamètre.	5m,50
Poids du volant.	25000k

Ce volant porte 16 gorges pour transmettre la force par câbles. Le boulon de crosse est à graissage central ainsi que la bielle motrice, comme nous l'avons indiqué précédemment.

Cette machine se distingue particulièrement par sa distribution de vapeur qui consiste dans l'adoption de deux soupapes équilibrées à l'introduction et de deux tiroirs circulaires ou obturateurs pour l'échappement.

La particularité essentielle de cette distribution consiste dans le groupement du mécanisme de détente et du régulateur de telle sorte que l'action de ce dernier sur la détente se produit immédiatement.

Le mécanisme de distribution est du système Proell.

Le mécanisme de détente se compose d'un levier à deux bras ayant des mouvements d'oscillation dans la direction des deux flèches figurées sur la planche 48-49; ces déplacements, provoqués par l'action d'un excentrique calé sur l'arbre volant, ont lieu autour d'un arbre horizontal *w* supporté par la colonnette du régulateur; à ce levier sont articulés deux cliquets K_1, K^2 qui soulèvent de chaque côté, alternativement, les deux soupapes d'introduction par l'intermédiaire de deux leviers h_1. L'extrémité de chaque cliquet repose sur une saillie que présente la fourche *o*, à cheval sur le bout de l'arbre *w* et fixée directement sur la tige du régulateur.

Par suite de la forme particulière et du mode d'attache des cliquets, l'extrémité du bec en acier par lequel ils actionnent les leviers h_1, tend à décrire, pendant le mouvement d'oscillation, un arc de cercle. Si, par exemple, le cliquet de gauche agit de haut en bas, il ouvre la soupape jusqu'à ce que l'inclinaison de l'arc devienne assez grande pour que les extrémités garnies d'acier du cliquet et du levier h_1, cessent d'être en contact; alors la soupape se referme sous l'action du ressort à boudin contenu dans *dash-pot*, un petit réservoir d'air. Le cliquet de droite, pendant ce temps, suit l'oscillation du levier de bas en haut sans exercer aucune action sur la soupape.

En montant ou en descendant sous l'action du régulateur, la fourche *o* produit entre les becs des cliquets et les extrémités des leviers de soupapes, un contact plus ou moins prolongé; par suite le dégagement de ces leviers se trouve avancé ou retardé. On obtient par cette disposition une action prompte et directe sur l'introduction de la vapeur dans le cylindre.

Une autre particularité de la forme spéciale des cliquets et de la manière dont ils fonctionnent vient non seulement de ce que leurs becs ont une large surface de contact, même pour les petites introductions, ce qui empêche une usure prématurée, mais aussi du très petit chemin que la pièce à fourche *o* doit parcourir pour faire varier considérablement l'introduction.

Dans les machines de puissance moyenne, cette course ne dépasse pas 15 millimètres. Il est donc possible de faire agir sur la détente un régulateur relativement petit avec une grande énergie; celui qui est employé dans cette machine est construit d'après le système Proell.

Comme on le voit sur la planche 48-49, la tige qui traverse la tige creuse du régulateur s'assemble au moyen de deux doubles écrous, avec une traverse *t*

actionnée par deux petits bras de leviers en retour d'équerre, ceux-ci appartiennent aux tiges de suspension supérieures des boules.

Si, par exemple, pour un changement de vitesse de 1/50 on a dans l'ensemble en forme d'urne constitué par les tiges de suspension, une force de 1 kilogramme le rapport adopté par les bras de leviers multiplie la force dans le rapport de 4 à 1, ce qui permet de disposer sur la tige de commande *r* de 4 kilogrammes ; on a ainsi la possibilité de faire varier la détente d'une manière précise et prompte, sans être gêné par les frottements : de là dépend la grande régularité de marche observée dans ces machines.

L'action du coussin d'air est complétée par un ressort à boudin *f* légèrement tendu, sur lequel le piston *q* du réservoir d'air repose en dernier lieu, de telle sorte que la soupape, quelle que soit sa levée, retombe toujours doucement sur son siège, condition indispensable pour sa durée et la douceur de la marche de la machine.

Un écrou permet de régler la tension du ressort F.

Les organes de distribution à l'échappement de cette machine à vapeur consistent en des tiroirs circulaires, genre Corliss, placés au bas, sur le côté des cylindres et actionnés directement par un excentrique.

La position de ces tiroirs permet l'écoulement direct de l'eau de condensation et présente toutes les garanties de sécurité et de bon fonctionnement.

Les cylindres de ces machines sont rapportés dans des enveloppes de circulation de vapeur, condition essentielle pour le maintien de la température dans le cylindre et par suite pour la réalisation de la plus grande économie de combustible ; de plus ces enveloppes en fonte sont elles-mêmes recouvertes par des enveloppes en bois cerclées en cuivre et garnies intérieurement de calorifuge.

Le condenseur de cette machine est du système vertical à deux corps présentant un système à double effet, il est placé en arrière du grand cylindre à vapeur, sous sol, et actionné par le prolongement de la tige du piston de ce cylindre au moyen d'un grand levier de balancier et guidé par une glissière spéciale.

Le bâti de la machine est du type nouveau genre Corliss, il fait corps avec le palier de la manivelle, la glissière de ce bâti est cylindrique.

Le volant de cette machine est construit en deux parties, il porte 16 gorges pour transmettre par câbles la puissance du moteur ; une particularité à noter dans la construction de ce volant, c'est qu'il y a un système de garniture en bois entre les bras pour éviter le déplacement de l'air par ceux-ci et réduire par conséquent la résistance à sa force centrifuge.

Machines Chaligny et Cie

(Planches 50 à 53)

La machine de la maison Chaligny et Cie, est une machine compound de 55 à 80 chevaux.

La consommation de vapeur par heure et par force de cheval est de 8k,200.

La consommation d'eau pour la condensation est par cheval et par heure de 180 litres.

Les dimensions principales sont :

Diamètre du cylindre H. P.	0,280
» » B. P.	0,485
Course des pistons	0,500
Rapport des volumes.	3

Admission variable à la main dans le petit cylindre de $\frac{1}{10}$ à $\frac{6}{10}$.

Admission fixe dans le grand cylindre $\frac{5}{10}$.

Le condenseur est actionné par la tige du grand cylindre. Les glissières sont cylindriques. La distribution permet de faire varier la détente à l'aide d'une coulisse, la manœuvre se fait à la main. Le tiroir employé est du système Trick ou à canal.

Cette machine fonctionne dans de très bonnes conditions. C'est un bon type courant simple.

La machine mi-fixe compound, sans condensation de 30 chevaux exposée, dépense 13k,250 de vapeur par heure et par cheval. Par l'addition d'un condenseur semblable à celui que nous décrivons plus loin sa consommation descend à 10k,300.

L'introduction peut varier de $\frac{1}{10}$ à $\frac{6}{10}$ pour les machines compound à condensation et de $\frac{1}{10}$ à $\frac{8}{10}$ pour les machines sans condensation.

Le régulateur de ces machines à masse centrale et à grande vitesse permet d'assurer la régularité de marche à 2 % près. Le patin de crosse est à rattrapage de jeu. La détente au grand cylindre est fixe. Cette machine est munie de deux poulies-volants, chacune en une pièce.

MM. Chaligny et Guyot-Sionnest ont construit un condenseur double à eau régénérée afin de pratiquer la condensation dans les machines à vapeur avec une quantité d'eau minime.

La vapeur d'échappement au sortir du cylindre de la machine est reçue dans un condenseur par mélange; l'eau chaude expulsée ou condensée par la pompe

à air est envoyée au réfrigérant ; c'est l'organe capital du système dans lequel l'eau tombe par le haut et traverse des fascinages en recevant l'action d'un ventilateur.

L'eau refroidie sert de nouveau à la condensation : au-dessus du condenseur par mélange est un condenseur par surface, l'eau de condensation déjà échauffée là, va en partie au réfrigérant et sert aussi à l'alimentation.

Le rapport présenté en 1888 par M. Hirsch à la Société d'encouragement donne le tableau suivant résultant d'expériences faites à la Compagnie de l'Est sur une machine mi-fixe compound de 30 chevaux environ.

	MARCHE	
	à échappement dans l'atmosphère	à condensation
Durée de l'expérience	9 h.	9 h.
Admission au cylindre de HP.	55 %	36,7 %
Puissance en chevaux indiqués	30,66	29,38
» » au frein	24,25	24,12
Consommation d'eau totale	3074 litres	1787 litres
» » par cheval-heure indiqué.	11,148 »	8,235
» » » » au frein.	14,1089 »	6,644
Consommation de houille totale	360k	235k
» » par cheval-heure indiq.	1 ,294	0 ,869
» » » » au frein	1 ,649	1 ,083
Vide		0,50
Pression d'air au réfrigérant		3 mm. d'eau
Température moyenne de l'eau extérieure . .	11°	10°
» de l'eau au sortir du condenseur .		58 ,1
» de l'air extérieur		19 ,8
» de l'air au sortir du réfrigérant .		38 ,5

Nous donnons planche 52-53, le dessin d'une machine mi-fixe compound de 15 chevaux construite par la maison Chaligny et Cie.

Société anonyme du Phénix, de Gand

(Planches 54-55)

La Société anonyme du Phénix expose une fort belle machine compound de 400 chevaux à deux cylindres horizontaux situés parallèlement de chaque côté du volant.

Cette machine n'a qu'une glissière et est munie d'une distribution spéciale de M. Hertay, ingénieur en chef de cette société.

M. Hertay attribue le bon résultat économique des machines à quatre distributeurs à la diminution de l'espace nuisible, à la vitesse du piston ; mais pour lui la fermeture rapide des obturateurs n'a qu'une influence secondaire, c'est-à-dire que le laminage de la vapeur n'est pas aussi nuisible qu'on le croit, il s'appuie sur l'avis de MM. Hirn et Marcel Desprez et de nombre de praticiens qui pensent qu'en effet, et surtout en cas de vapeur chargée d'eau entraînée, le laminage n'est pas une mauvaise chose.

La machine de M. Hertay est réglée avec une certaine compression qui permet de réchauffer les fonds de cylindres, de diminuer les forces d'inertie à fond de course et par conséquent d'aborder d'assez grandes vitesses de piston.

Dans le système *Hertay* la distribution est produite par un tiroir principal partagé en deux T.T (voir la conpe par l'axe du cylindre, pl. 54-55) qui reçoit d'un excentrique un mouvement invariable.

Chacune des parties TT de ce tiroir, présente un canal pour l'admission et un canal pour l'échappement mis en relation en temps opportun avec le conduit d'échappement du cylindre vers le condenseur.

Sur le dos du tiroir principal, se meut un tiroir ou glissière de détente *g*, *g*, dont le mouvement participe en partie du mouvement du tiroir principal et en partie de celui d'un excentrique de détente.

A cet effet la barre B de l'excentrique de détente commande une pièce qu'en raison de ses fonctions on a appelée bloc distributeur. Le bloc distributeur affecte différentes formes ; pour les besoins de cette description, il est suffisamment représenté sur le détail du tiroir.

C'est une pièce évidée qui reçoit son mouvement de la barre d'excentrique par l'intermédiaire d'un système de renvoi et des deux tourillons *p p* ; dans certains types de machines elle est commandée directement.

Les deux extrémités du bloc sont façonnées en forme de douilles et reçoivent les tiges qui communiquent les mouvements aux tasseaux de détente. Ces tiges sont clavetées dans des taquets *t*, *t* dont la face extérieure est droite et dont la face intérieure présente une certaine inclinaison ; entre les faces internes peut jouer un coin qui accomplit dans tout ce qui va suivre un rôle important. Ce coin guidé dans des rainures ménagées dans les faces du bloc ou bien de toute autre manière sera d'abord supposé au fond de sa course comme ce qui est représenté en trait plein.

M. Hertay emploie pour l'étude de son tiroir, une méthode dérivée de l'épure de Zeuner et permettant d'établir d'une façon simple l'étude générale d'un tiroir de détente à plaque superposée mobile par un excentrique.

La manivelle étant dans une position quelconque *o*M, le centre de l'excentrique du tiroir en E, celui de l'excentrique de détente en E', le tiroir est reporté

à gauche de sa position moyenne de oe, le centre du bloc distributeur est distant de sa position moyenne de oe'. Ainsi le tiroir est en retard sur les tasseaux de détente de la quantité $oe' - oe = ee'$, or ee' est la projection de la ligne. EE' qui joint les deux centres, on peut l'obtenir en menant oE égale et parallèle à $E'E'_1$; oE_1 est l'excentrique fictif qui résulterait de la composition de oE avec un excentrique égal et opposé à oE' ; sa projection $oe = e'e$ donne toujours l'écart relatif du centre du tiroir relativement au centre du bloc ou des tasseaux de détente.

On sait que les écarts du tiroir principal sont donnés par les rayons vecteurs du cercle de diamètre oE_1 ceux du centre du bloc distributeur seraient donnés par le cercle tracé avec un diamètre oE'. α et α' sont les angles d'avance portés à partir de M, en sens contraire du mouvement. Le cercle des écarts relatifs des centres s'obtiendra en prenant son diamètre oE_1 suivant la résultante de oE et de oE'_1 égal et opposé à oE^1_1 d'après ce qui a été dit plus haut.

On peut tracer pour suivre un tour de manivelle le deuxième cercle oE_2. Pour obtenir la position relative des centres pour la position M du bouton de manivelle, on trouve que le tiroir est en retard sur les tasseaux de la quantité oe_1 au point mort M_0 ce retard est oe_1.

Pour savoir ce qui se passe sur la face droite du piston, on aura donc à prendre seulement l'orifice de droite du cylindre.

Le coin étant à fond, c'est-à-dire le bloc distributeur étant invariablement lié aux deux tasseaux, on peut réaliser une introduction nulle sur la face droite du piston. Il suffira, les tiroirs aussi bien que les tasseaux étant dans leur position moyenne, de donner aux tasseaux un recouvrement $l = oe_o$; en effet, lorsque la machine sera au point mort, le tiroir étant en retard par rapport aux tasseaux de $oe_0 = l$, on voit que la position relative sera obtenue en déplaçant sur la figure, le tiroir vers la droite d'une quantité l ; la fermeture est donc opérée précisément au point mort et ne fait que s'accentuer de plus en plus.

Pour la position de manivelle oN le tiroir est en retard sur les tasseaux de la quantité la plus grande oE_2 ; il faut qu'à ce moment les canaux du tiroir soient entièrement ouverts pour l'introduction qui va se préparer à partir de M_o, car s'ils ne l'étaient pas, ils ne le seraient pour aucune autre position.

Ainsi pour le parcours NM_o de la manivelle, le tiroir avance par rapport aux tasseaux d'une quantité égale à la largeur λ des canaux partiels du tiroir on doit donc avoir $\lambda = oE_2 - oe_o$.

Proposons-nous en second lieu, de faire cesser l'introduction lorsque la manivelle est arrivée en oM, le tiroir ayant pris par rapport aux tasseaux une avance oe_1 on sait que les canaux seraient déjà recouverts d'une quantité $oe_o - oe_1$, si le coin avait été laissé à fond ; pour que le recouvrement soit nul en ce point il faut le diminuer de $oe_0 - oe_1$ ce qui s'obtiendra en relevant le

coin dans la position pointillée, figurée de manière à ménager un jeu $mn = oe_0 - oe$, point où se produit la butée du taquet contre le coin, à partir du moment où se produit le contact entre le taquet et le coin. Le tiroir dont le retard relatif par rapport aux tasseaux diminue de plus en plus, referme ses canaux d'un mouvement non interrompu ; au moment où la butée a lieu, la position relative est celle de b, la fermeture complète ayant lieu dans la position de la figure, il suffira de prendre oe_1 et d'y ajouter λ, de chercher la position de la manivelle pour laquelle le retard est $oe_1 + \lambda$ on trouvera ainsi oM'.

Cette machine bien étudiée fonctionne dans de bonnes conditions et sa distribution est robuste et facilement visitable.

Cette machine est munie de graisseurs Stopfer pour le mouvement et de graisseurs à huile pour les cylindres et tiroirs.

Le volant, en deux parties, a 14 gorges pour câbles.

Les dimensions principales sont les suivantes :

Diamètre petit cylindre	$0^m,620$
» grand »	$1^m,000$
Rapport des volumes	2.60
Course commune	$1^m,250$
Nombres de tours	60

Cette machines développe 400 chevaux indiqués à une pression initiale de 5 atmosphères pour une introduction de 30 à 35 % au petit cylindre.

Machine Corliss compound de MM. Berger-André

(Planches 54-55)

La machine exposée est du type Corliss compound, à distribution Berger-André.

Elle est composée de deux cylindres de diamètres différents dont les manivelles sont calées à environ 90 degrés.

Chaque cylindre est relié à son palier par un bâti à baïonnette formant glissière. Le petit cylindre, à double enveloppe de vapeur, reçoit directement la vapeur de la chaudière ; les obturateurs d'admission et d'évacuation sont actionnés par un système de bielles recevant le mouvement par un excentrique unique. La durée de l'admission est réglée par le régulateur agissant sur un déclic.

En sortant du petit cylindre, la vapeur se rend dans un réservoir à double enveloppe recevant directement la vapeur de la chaudière. De là, elle est distribuée dans le grand cylindre à double enveloppe de vapeur, muni aussi de tiroirs circulaires, et dont les obturateurs d'admission sont actionnés par un excen-

trique spécial dont la position règle la détente. Un second excentrique actionne les obturateurs d'échappement.

La vapeur d'échappement du grand cylindre se rend au condenseur, qui est placé sous le bâti, et qui est commandé par la manivelle par l'intermédiaire d'une bielle verticale et d'un balancier horizontal.

Les dimensions principales de cette machine sont :

Diamètre du petit piston	$0^m,355$
— du grand —	$0^m,560$
Rapport des volumes	2 ,40
Course des pistons	$0^m,910$
Nombre de tours par minute	70

Un des avantages de cette machine consiste dans la simplicité de son déclenchement, que nous décrivons :

Celui-ci se compose d'un excentrique *c*, entouré d'un collier *b*, portant un cliquet mobile *e*, qui tourne sur le support creux *d* de la tige de l'obturateur.

Le mouvement alternatif donné par l'excentrique de distribution aux organes de l'échappement est transmis par la bielle *a* au collier *b*. Le cliquet *e* appuie sur une des extrémités du levier double *f* qui est calé sur l'axe des tiroirs de distribution.

L'autre extrémité de ce levier *f* est reliée par la bielle *g* à un piston atmosphérique qui assure la fermeture instantanée du tiroir de distribution. L'excentrique *c* est actionné par le régulateur par l'intermédiaire des bielles *h* et du levier à trois branches *i*. Pendant que le collier *b* est mis en mouvement par la bielle *a*, le cliquet *e* qu'elle porte est rapproché ou éloigné du centre *x*, suivant la position donnée par le régulateur à l'excentrique *c*. Par suite, la durée du contact entre le cliquet *e* et le levier *f*, qui détermine celle de l'admission, sera plus ou moins longue, et l'admission maximum est plus grande que dans la machine Corliss primitive.

Au moment de l'interruption du contact, la fermeture brusque de l'admission a lieu par suite du rappel du levier *f* par la tringle *g* du piston atmosphérique.

L'excentrique *c* porte une came *k* qui, en cas de rupture de la courroie motrice du régulateur, vient soulever le cliquet *e* et empêche ainsi toute admission de vapeur.

On voit, par la figure, qu'un très faible déplacement de l'excentrique suffit pour faire varier la durée de l'admission, et qu'ainsi la parfaite régularité de la marche est assurée.

Pendant les mouvements circulaires et alternatifs des pièces de déclenchement autour du point central, le cliquet *e* reste toujours normal au levier *f*, de telle sorte que l'enclenchement est toujours assuré, ce qui permet de donner à

la machine une grande vitesse, qui est encore favorisée par la suppression complète de tout presse-étoupes.

L'étanchéité est obtenue, pour les tiges d'obturateurs, par un joint métallique, et pour la tige du piston, par une garniture entièrement métallique. La machine est munie de graisseurs Stopfer, et pour les cylindres, du graisseur par pression Mollerupt. Le boulon de crosse est à graissage central.

La pompe du condenseur, placée dans le sous-sol, est actionnée par la manivelle motrice du grand cylindre.

Les pistons des machines sont munis d'anneaux métalliques assurant une bonne étanchéité.

Les têtes de piston, en acier, portent des glissières maintenant invariablement la marche des bielles dans le même plan, et qui sont réglables au moyen de coins mobiles.

Pour éviter tout retour d'eau du condenseur au cylindre, au cas où la machine tournerait sans vapeur, avec le robinet d'injection d'eau ouvert, une soupape reniflard, permettant de régler le degré de vide au condenseur, est montée sur la chambre de condensation, qui reçoit en outre elle-même un flotteur à soupape qui s'ouvre lorsque l'eau atteint un niveau anormal, et permet une entrée d'air empêchant le vide d'être plus élevé dans le cylindre que dans le condenseur.

Cette machine, des mieux construites, est un des meilleurs types de machines à quatre distributeurs.

Machine compound en tandem de MM. de Ville-Châtel et Cie, de Bruxelles. (Système J.-R. Frikart)

(Planches 57-58)

Cette machine, destinée à marcher à grande vitesse (175 tours) et propre, par conséquent, à la production de la lumière électrique, est munie de quatre distributeurs à chaque cylindre, mais sans déclic, disposition motivée par la grande vitesse de rotation de la machine.

Les deux cylindres sont en tandem et le réservoir intermédiaire est au-dessus du grand cylindre, et le condenseur en dessous. La régularité de marche est assurée par un appareil situé dans le volant, et analogue à ceux que nous avons décrits (Armington, etc.)

La course commune des pistons est de $0^m,400$ et les diamètres des cylindres sont de 400 et de 220 millimètres. Cette machine développe un travail de 80 chevaux. Le rapport des volumes des cylindres est de 3,30.

Cette machine, très compacte, tenant peu de place, est très bien exécutée.

Machine compound de la Société de l'Horme

(Planches 59-60)

Cette machine est à deux cylindres accolés n'ayant qu'une seule enveloppe extérieure. Cette machine est caractérisée par sa distribution avec mouvement de la détente à vapeur, du système Bonjour.

La machine de 250 chevaux de ce type a pour diamètres de cylindres 400 millimètres et 690 millimètres, et une course commune de 800 millimètres et fait 100 tours par minute.

Le tiroir principal de la distribution conduit par l'excentrique détermine, comme à l'ordinaire, l'avance, l'échappement et la compression.

A l'intérieur de ce tiroir, s'en trouve un autre, dit tiroir de détente, qui a pour fonction de fermer rapidement l'orifice d'admission au moment voulu de la course du piston.

Ce petit tiroir circulaire équilibré, est relié à une tige qui peut se déplacer parallèlement à l'axe des cylindres et qui porte un petit piston à chacune de ses extrémités. L'un de ces pistons se meut dans un cylindre à vapeur, et, par suite du mouvement alternatif d'un distributeur spécial, il reçoit successivement la pression sur chacune de ses faces. Il est donc animé lui-même d'un mouvement de va-et-vient, et ce mouvement, transmis au tiroir de détente, produit instantanément l'obturation alternative des orifices d'admission au cylindre moteur.

L'autre petit piston fonctionne de la même façon dans un cylindre amortisseur à eau, P, placé à l'arrière de la machine, et il a pour but d'annihiler les chocs qui pourraient se produire à chaque changement de direction du tiroir de détente.

Le distributeur qui, avons-nous dit, commande le tiroir de détente, est actionné par un mouvement elliptique combiné avec une coulisse C, dont la résultante est un mouvement angulaire variable ; ce mouvement obéit lui-même directement au régulateur. Quelle que soit la position de ce dernier, les admissions avant et arrière sont égales.

Ce régulateur est étudié de telle sorte qu'au fur et à mesure de l'accroissement de la force centrifuge par suite de l'agrandissement du cosinus de l'angle d'écartement des masses régulatrices, le moment de la masse centrale augmente proportionnellement : c'est une cause d'influence perturbatrice évitée ; il est donc d'une grande stabilité.

Le mécanisme de détente permet de varier l'admission de 0 à 70 % de la course du piston du régulateur.

Ce mode de détente est ingénieux, mais pour donner de bons résultats pratiques, il exige une construction très soignée.

La distribution que nous venons de décrire est celle du petit cylindre.

Le grand cylindre devant débiter intégralement le volume de vapeur détendue dépensé par le petit, et le volume de ce petit cylindre étant constant, il en résulte que le volume introduit dans le grand cylindre doit être également constant, quel que soit le travail développé par la machine.

En outre, le volume des cylindres étant dans le rapport de 1 à 3, il faut que la durée de l'introduction dans le grand soit le tiers de la course du piston.

On la fait un peu plus forte pour être certain que la vapeur dépensée par le petit cylindre soit complètement absorbée par le grand. Cette distribution au grand cylindre se fait à l'aide d'un seul tiroir spécial, commandé par un seul excentrique.

Les deux cylindres sont accolés, et les pistons attaquent un arbre coudé assez faible, muni de deux poulies-volants. Les glissières sont à section circulaire.

Le condenseur est placé latéralement, la bielle d'attaque prend son mouvement sur l'arbre moteur.

Les têtes de bielles sont graissées par des lécheurs à chaque révolution.

Machine compound de 180 chevaux fournissant l'eau aux appareils hydrauliques du Port du Havre

(Planches 61-62)

La Compagnie des Forges et Chantiers de la Méditerranée a construit deux machines semblables de 180 chevaux capables de refouler 1 000 litres d'eau par minute à la pression de 60 kilogrammes par centimètre carré.

Les cylindres de ces machines ont $0^m,550$ et $1^m,100$ de diamètre et $1^m,100$ de course. Soit un rapport de 4.

Le petit cylindre est à distribution Meyer, les cylindres sont à enveloppe de vapeur.

Machine compound construite par la Maison J. Le Blanc

(Planches 61-62)

Cette machine dont nous donnons ci-contre les diagrammes est devenue d'un type courant et a été établie pour actionner les pompes du Bon Marché. Ce type très ramassé et bien construit peut être adopté dans bien des cas.

Nous joignons également le dessin des cylindres des locomobiles compound construites par cette maison qui expose une machine mi-fixe qu'on peut munir de roues de la force de 12 chevaux.

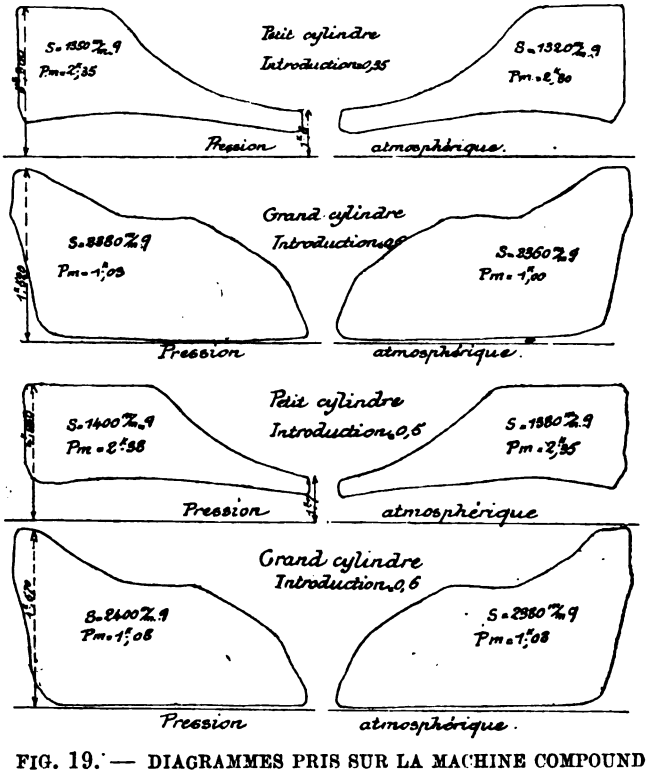


FIG. 19. — DIAGRAMMES PRIS SUR LA MACHINE COMPOUND DE LA MAISON J. LE BLANC

Diamètre du piston	0m,230
Course	0m,360
Vitesse	100 tours.
Introduction.	1/4
Timbre	6 k. 50

Machine compound mi-fixe de 80 chevaux de M. Ch. Bourdon

(Planches 63-64)

Cette machine dont nous joignons le dessin a un condenseur à surface.

Elle fonctionne à une pression de 7 kilogrammes, les diamètres des cylindres sont 560 et 330 et la course commune de 560 millimètres, soit un rapport de volume égal à 2,88. La chaudière est à foyer amovible.

Machine élévatoire Worthington

Cette machine fort intéressante est employée à l'élévation des eaux du service de l'exploitation ainsi qu'une machine Wheelock à grille.

Pour les machines à vapeur à travail constant on peut distinguer plusieurs périodes dans le fonctionnement. Prenons par exemple, et c'est le cas présent, une pompe :

1re période : pleine admission, excès de puissance sur la résistance ;

2e période : commencement de la détente, égalité entre la puissance et la résistance ;

3e période : fin de la détente, avance à l'échappement, infériorité de la puissance sur la résistance.

Donc nécessité absolue du volant formant réservoir de puissance vive.

M. Worthington a recherché le moyen de supprimer le volant, l'arbre et les manivelles.

Il y est arrivé de la façon suivante :

Deux petits cylindres oscillants M et M' sont reliés au prolongement de la tige des pompes. Ces cylindres communiquent soit directement, soit par l'intermédiaire d'un accumulateur avec l'eau de la conduite de refoulement.

Ces pistons sont donc soumis à une pression proportionnelle à celle de la conduite de refoulement.

Or les pistons sont articulés à rotule sphérique sur la tige du piston et les cylindres peuvent osciller autour d'un point fixe O. (Voir fig. 12, p. 43).

Il en résulte que, d'après leur orientation, d'après l'angle qu'ils font avec la tige horizontale considérée, on a un effort positif ou négatif dans l'axe de la tige (position M_1 et M_2), avec un effort nul quand l'angle des tiges de piston auxiliaires avec l'axe de la pompe est de 90° (position M_2).

On peut donc ainsi absorber l'excédent d'énergie pour le rendre ensuite et avoir un rapport uniforme entre l'action des pistons auxiliaires et la charge de la colonne de refoulement.

Cette solution est fort élégante et la machine construite sur ce principe qui est de très grandes dimensions, car elle peut donner 24000 mètres cubes par jour, fonctionne dans de bonnes conditions depuis l'ouverture de l'Exposition.

La machine à vapeur proprement dite est une compound en tandem ainsi que le montre le dessin fig. 11, p. 42, chaque cylindre est à quatre distributeurs.

Le volume intermédiaire est muni d'un sécheur tubulaire à vapeur directe.

Les obturateurs d'admission et d'échappement sont en cascade ce qui a l'inconvénient d'augmenter un peu les espaces morts. Les obturateurs d'admission du cylindre de gauche sont mûs par la tige du cylindre de droite et inversement.

Les obturateurs d'échappement sont mûs par la tige du piston du cylindre auquel ils appartiennent.

Le condenseur a sa pompe horizontale et actionnée par le balancier K.

L'arrivée de vapeur est munie en C d'un sécheur de vapeur.

Les dimensions de cette machine sont les suivantes :

Diamètre du petit cylindre	381 millimètres.
Diamètre du grand cylindre.	762 »
Soit un rapport de 4 entre les volumes	
Course	650

Cette machine fonctionne avec 6 kilogrammes de pression à l'admission.

Machine compound, construite par M. Boulet

Cette machine horizontale a ses deux cylindres accolés et fondus avec une même enveloppe.

Les diamètres des cylindres sont 350 et 580 avec une course de 700 millimètres, ce qui donne un rapport de 2,74 entre les volumes.

Cette machine à 70 tours développe 140 chevaux.

Le grand cylindre est à détente fixe.

Le petit cylindre a un tiroir à plaques glissantes. Les plaques supérieures sont actionnées par une coulisse (détente Bonjour) et reçoivent l'action du régulateur.

Le condenseur situé dans le sous-sol est actionné par une manivelle calée sur l'arbre moteur.

Le volant de cette machine d'une seule pièce porte une courroie.

Ce type de machine est courant et solidement établi.

Compresseurs d'air de la Société Cockerill

Les cylindres à air sont disposés en tandem sur les cylindres d'une machine compound à condensation.

Les cylindres à vapeur vont attaquer un arbre portant un volant au milieu de sa longueur.

Les bâtis sont à baïonnette. La pompe du condenseur est commandée par une contre manivelle.

Le cylindre à haute pression est muni de la détente Meyer. Le régulateur n'agit pas sur la détente, car le travail est constant, mais sur l'admission de vapeur pour éviter une marche trop rapide.

Le tiroir du cylindre à basse pression est à canal, système Trick.

Cette machine fait 45 tours et emploie de la vapeur à 8 atmosphères. La course est de $1^m,200$ et les diamètres des cylindres à vapeur $1^m,150$ et $0^m,700$, ce qui donne un rapport de 2,69 entre les volumes.

Cette belle machine est destinée à la Société parisienne d'air comprimé.

Machine à vapeur horizontale compound de la Maison Sulzer

(Planches 65-66)

Cette belle machine est construite d'après le système à soupapes bien connu, avec cylindres à haute et à basse pression disposés l'un à côté de l'autre, de 500 et 800 millimètres, rapport des volumes 2,54 ; 1400 millimètres de course des pistons, faisant 75 révolutions par minute ; en travaillant à une pression initiale de 7 $^1/_2$ atmosphères au cylindre à haute pression et avec condensation cette machine développera avec une admission de 10, 20, 30 et 40 % un travail de 265, 360, 430 et 500 chevaux effectifs.

Cette machine a une vitesse de piston de $3^m,500$ par seconde.

En principe, le mouvement de distribution est le même que pour la machine exposée en 1878 ; mais il a été simplifié pour les soupapes d'admission du petit cylindre, ainsi que pour les soupapes d'échappement du cylindre à basse pression, en adoptant l'élément le plus sûr, c'est-à-dire les cames que l'on a en outre construites en deux parties pour pouvoir les ajuster.

Le mouvement des soupapes d'admission pour le cylindre à basse pression se fait d'une manière tout à fait analogue, en suivant le principe, que l'admission au grand cylindre doit être fixe et correspondre au rapport des volumes des deux cylindres. Il est bien entendu que les cames sont réglables comme celles de l'échappement pour pouvoir régler à l'aide de l'indicateur.

Avant d'entrer aux cylindres mêmes, la vapeur traverse les enveloppes. L'enveloppe du grand cylindre sert aussi de réservoir. MM. Sulzer ont abandonné complètement le réservoir intermédiaire lequel, d'après les essais comparatifs qu'ils ont faits, ne présente pas d'avantage.

Des essais faits avec une machine tout à fait égale à celle exposée ont donné une consommation de 6 k. 353 de vapeur par cheval *indiqué* et par heure, y compris toutes les eaux de condensation des enveloppes.

Le graissage se fait au moyen de petites pompes, lesquelles aspirent l'huile

tombant d'un réservoir, elles sont à débit visible et peuvent être réglées à volonté. Les têtes de bielles sont graissées par le centre par un graisseur à force centrifuge.

Les tiges des pistons sont de fort diamètre et les presse-étoupes renferment des garnitures métalliques, qui se prêtent parfaitement pour soutenir les poids des tiges, tandis que les pistons mêmes sont du type *Ramsbottom* lesquels, surtout à cause de leur petit poids, offrent des avantages notables pour les grandes vitesses.

Les crossettes, les bielles, les manivelles et l'arbre de couche ont des tourillons de dimensions très fortes pour présenter beaucoup de surface et réduire ainsi la pression par centimètre carré.

La pompe horizontale du condenseur est à double effet et disposée au-dessous de la manivelle du cylindre à basse pression qui attaque directement la bielle de la pompe. Le volant en deux pièces est muni de 14 gorges.

La maison Carels de Gand expose une machine semblable de 350 chevaux.

Ces machines sont d'une exécution remarquable et étant donné qu'on accepte la soupape comme distributeur, nous ne croyons pas qu'on puisse trouver de meilleur type, plus étudié que celui des machines exposées.

Machine Olry et Granddemange

(Planches 67-68)

MM. Olry et Granddemange exposent une machine compound dont la distribution fort ingénieuse est construite de la façon suivante (fig. 6 et 7).

Sur la table du cylindre B est montée une boîte à vapeur G. Dans cette boîte à vapeur est un tiroir C à distribution intérieure afin qu'il n'y ait d'autres espaces nuisibles que ceux dûs aux conduits du cylindre, lesquels sont très courts Ce tiroir C est guidé dans le sens vertical entre les faces D et E de la boîte et fonctionne entre deux glaces : celle A du cylindre et celle F d'une autre pièce, fixe dans le sens du mouvement longitudinal, maintenue qu'elle est, entre les butées FF. Cette pièce F porte verticalement : 1° Deux coussinets QQ ; 2° intérieurement, une portion de glace circulaire ou cylindrique P, percée d'une lumière L débouchant sur le dos du tiroir (cette glace circulaire est excentrée d'une (certaine quantité) au 1/4 par rapport aux coussinets QQ ; 3° enfin, un obturateur cylindrique M en bronze, dont les tourillons en aciers s'ajustent dans les coussinets QQ (cet obturateur est de même rayon que la glace circulaire P, mais ses tourillons sont forcément excentrés de la quantité signalée ci-dessus). La glace F est pressée contre le tiroir G : 1° Principalement par l'action de la vapeur ; 2° en outre, par quatre

ressorts à boudin *tttt* logés sur les tiges prolongées des 4 vis montées sur le dos de la boîte à vapeur G. (Ces vis ont pour fonction principale de venir buter à 1/2 millimètre de jeu sur les paliers du siège de l'obturateur, afin qu'un décollement accidentel ne puisse exposer la glace F à être écartée violemment du dos du tiroir C.) Le tiroir C est construit pour une introduction de 8/10 de la course du piston ; les choses sont disposées de façon que, à certains moments, il démasque totalement l'orifice L et l'un ou l'autre des orifices d'introduction du cylindre. L'obturateur M est destiné à produire l'occlusion de l'orifice L de manière que l'introduction au lieu de se faire pendant les 8/10 de la course, comme le permet le tiroir C, varie comme le travail a produire entre 0 et 8/10. A cet effet, l'obturateur M est commandé par une manivelle S montée sur le prolongement indépendant des tourillons de l'obturateur (l'axe de la manivelle S et les tourillons de l'obturateur sont indépendants pour que l'usure possible des glaces n'influe en rien sur la verticalité des deux axes ; ils sont reliés entre eux par deux manivelles d'entraînement *rr*), la manivelle S est, d'une part, constamment soumise à la tension d'un ressort V (fig. 5), qui tend à produire le mouvement de fermeture de l'obturateur, et, d'autre part, sollicitée à certains moments, par la bielle U, travaillant sous traction du régulateur en sens contraire du ressort V, et produisant par suite les mouvements d'ouverture de l'obturateur. Les deux mouvements de l'obturateur se produisent donc de la façon suivante : Lorsque la bielle U devient libre, l'obturateur est sous l'action du ressort V, brusquement lancé sur son siège où il s'appuie énergiquement à la façon d'un coin ; quand la bielle U prend son mouvement opposé, elle commence à décoller l'obturateur M de son siège ; alors cet organe se trouvant enveloppé de vapeur de toutes parts, est parfaitement équilibré et, par suite, continue son mouvement sous l'action d'une force extrêmement faible. Ainsi, l'obturateur opère brusquement son mouvement de fermeture comme dans les Corliss : il appuie énergiquement contre sa glace pendant le repos, ce qui empêche toute fuite ; et enfin pendant son mouvement, il est parfaitement équilibré, ce qui diminue considérablement les frottements, les dimensions du ressort, et empêche le grippement. L'appareil fonctionne de la façon suivante : la bielle U reçoit son mouvement d'une pièce spéciale *c* en forme de came, montée sur l'arbre du régulateur ; elle est articulée à l'extrémité d'un levier coudé *a a*, dont l'autre extrémité porte un galet ovoïde *b*, lequel, par l'intermédiaire de deux roues dentées *e*, *f*, reçoit son mouvement de l'arbre *g* de la machine, de manière à faire exactement deux fois plus de tours que cette dernière. La came *c* se compose de deux portions cylindriques *h*, *i*, reliées entre elles par une surface cylindrique, destinée à produire le démasquement de l'orifice L, et séparée par un héliçoïde à plan directeur *k* dont le but est d'échapper le galet *b* tombe à cinq millimètres du noyau cylindrique *h* de la came, ce qui empêche d'abord les chocs et le bruit qui en résulteraient. (Le bruit de la retombée de l'obturateur sur son siège est détruit

par l'action d'un amortisseur à air X, dont la bielle U porte le piston). Les boules *m m* du régulateur sont placées aux extrémités de leviers coudés *n n*, articulés à une pièce en Y, fixée à l'arbre *d*. Les autres extrémités des leviers *n n*, portent des galets *o o*, s'engageant sous la tête d'un boulon *p*, qu'ils soulèvent plus ou moins. Ce boulon, qui est dans l'intérieur de l'arbre tubulaire *d*, est réuni à la came *c* au moyen d'une clavette qui se meut dans une mortaise pratiquée dans l'arbre *d* du régulateur.

Un premier avantage de cette disposition, c'est d'obtenir pour la came une très grande course au moyen d'un régulateur relativement petit. Quand les boules *m m* sont extrêmement rapprochées l'une de l'autre, la came *c*, qui suit le boulon *p*, est à sa position inférieure, et le galet *b* s'appuie sur la partie supérieure de la came, laquelle donne alors lieu à une introduction des 8/10. Au contraire, quand les boules *m m* sont extrêmement éloignées l'une de l'autre, la came *c* est à sa position supérieure, et le galet *b*, se trouvant alors en face de la partie inférieure de la came, n'oscille plus, et l'introduction se trouve réduite à zéro. Pour les positions intermédiaires on obtient toutes les introductions possibles entre 0 et 8/10. La sensibilité de cet appareil est très grande. Le régulateur agit directement sur la came, enfin celle-ci est complètement isolée de la distribution pendant la détente, puisque le galet *b* est alors à cinq millimètres du noyau de la came. Sur la tête du boulon *p* est montée une pièce Z, sorte de vase destiné à recevoir de la grenaille de plomb. Cet appendice est précieux pour obtenir la vitesse précise que l'on désire et un équilibre parfait. Le dessin (fig. 3) donne la coupe des cylindres de cette machine.

$a\, a_1\, a_2\, a_3\, a_4$ Réservoir de vapeur intermédiaire, commençant en *a*, se poursuivant $a_1\, a_2\, a_3$ pour se terminer en a_4.

$b\, b_1\, b_2\, b_3\, b_4$. Enveloppe de vapeur du réservoir intermédiaire, commençant en *b*, se poursuivant en $b_1\, b_2\, b_3$ pour se terminer en b_4.

c c c' c'. Enveloppes de vapeur des deux cylindres.

d d d' d'. Enveloppes de vapeur des fonds et couvercles des deux cylindres ; *i* arrivée de vapeur directe par les trous *e e e' e'*, évacuation de la vapeur condensée par les trous *f f f' f'*.

g Trou d'alimentation de l'enveloppe du réservoir intermédiaire.

Canal d'alimentation de l'enveloppe des deux cylindres (par les trous *i i i*),

J Petit robinet (appartenant au double robinet O) alimentant toutes les enveloppes par le trou *k k*.

l l Canaux faisant communiquer la partie inférieure de toutes les enveloppes avec la partie inférieure de l'enveloppe du réservoir intermédiaire.

m Purge unique de toutes les enveloppes.

n Purge du réservoir intermédiaire au moyen d'un seul robinet à deux orifices.

O Robinet de prise de vapeur à deux clapets, pouvant desservir l'un ou l'autre

des deux cylindres ou tous les deux simultanément (servant, par conséquent, de mise en marche).

p p p p p Canal d'arrivée de vapeur directe au petit cylindre.

q q Canal d'arrivée de vapeur directe au grand cylindre (par le réservoir intermédiaire).

R Robinet d'échappement à clapet à deux sièges, permettant d'intercepter la communication du réservoir intermédiaire avec l'échappement du petit cylindre, et de renvoyer cet échappement dans un conduit spécial.

s s s t Conduit spécial d'échappement du petit cylindre venant rejoindre l'échappement à la sortie du grand cylindre.

Le robinet double O de prise de vapeur, le robinet d'échappement et le conduit spécial d'échappement *s s s t* permettent de faire fonctionner cette machine à quatre marches distinctes.

Marche normale avec deux cylindres compounds :

Travail compound 100 chevaux indiqués.

Marche anormale : Le robinet d'échappement étant fermé sur le réservoir intermédiaire, sous une pression de vapeur directe avec le petit cylindre seul, travail maximum 65 chevaux ; avec le grand cylindre seul avec distribution Meyer au grand cylindre, de 2 à 8/10, 185 chevaux; avec les deux cylindres, à la fois, 250 chevaux, sous une pression initiale de 6 kilogrammes et marchant à 80 tours.

Ci-contre, le diagramme relevé sur le petit cylindre à l'exposition le 21 juin 1889.

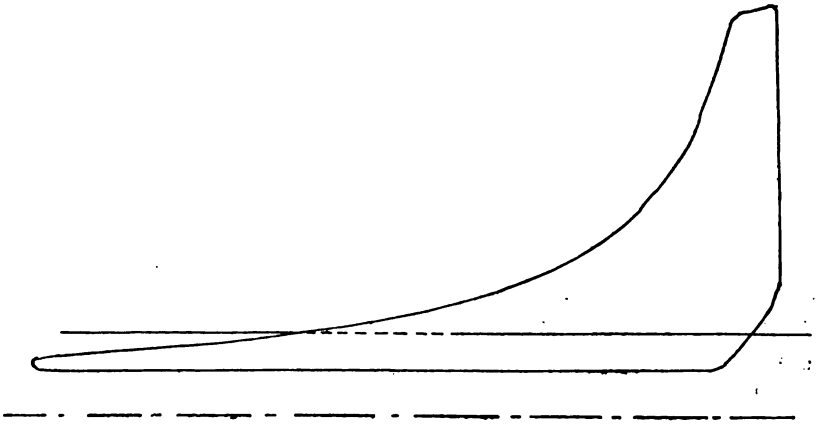


FIG. 20

Cette machine est un peu compliquée, mais elle est construite d'une façon robuste et tient peu de place.

Le condenseur en tandem est attaqué par la tige du grand cylindre. La pompe

alimentaire, accolée au condenseur, est actionnée directement par la tige du petit cylindre.

L'arbre moteur porte deux volants poulies et est maintenu par quatre paliers, dont trois à coins. Il y a là une certaine difficulté de construction.

Les cylindres sont graissés par un oléomètre Bourdon.

Machine Wheelock, construite par M. de Quillacq

(Planches 69-70)

La machine Wheelock, basée sur le principe des machines Corliss, a ses 4 distributeurs, situés à la partie inférieure du cylindre, les organes du déclic sont bien simples, très robustes et cette qualité rachète sa légère augmentation d'espace mort qu'on a dans cette machine en comparaison avec une machine Corliss ordinaire.

La machine Wheelock, exposée par la maison de Quillacq, est une machine compound à 2 cylindres de 300 chevaux, avec condenseurs conduits directement par les tiges de piston, l'un des condenseurs sert en marche normale, l'autre est destiné à la marche avec une seule machine.

Cette machine possède de nouveaux tiroirs à grille que M. Wheelock a adoptés d'abord pour les machines puissantes et qu'il applique maintenant à toutes les machines.

L'excentrique E, placé sur l'arbre du volant comme dans les machines à tiroirs ordinaires, donne un mouvement d'oscillation à la barre A, qui communique ce mouvement au levier B par une fourche C. On peut ainsi, en soulevant la barre d'excentrique par la poignée D, la déclencher, et au moyen de la poignée E et du levier B mouvoir, s'il y a lieu, les obturateurs à la main, pour faciliter la mise en marche.

En F, sur le levier B est fixé un tourillon portant le déclic G. L'embase encastrée de ce tourillon est excentrée par rapport à sa tige, ce qui permet de régler la position du déclic.

Dans la fourchette se trouve un guide cylindrique H, avec une partie plate entrant à frottement doux dans l'épaisseur du déclic, et pivotant sur le tourillon F. Sur ce guide glisse un dé ou petit cube en acier, portant un tourillon I mobile dans l'œil du levier coudé J. Le poids du déclic G fait presser sa

branche supérieure rectiligne sur le dé d'acier, ce qui en assure la direction. Sur cette branche rectiligne de la fourchette se trouve fixée en K, une touche saillante en acier, qui vient se placer devant l'arrêt du dé, et celui-ci entraîne le levier coudé J ; l'espace entre K et G étant juste suffisant pour recevoir le dé.

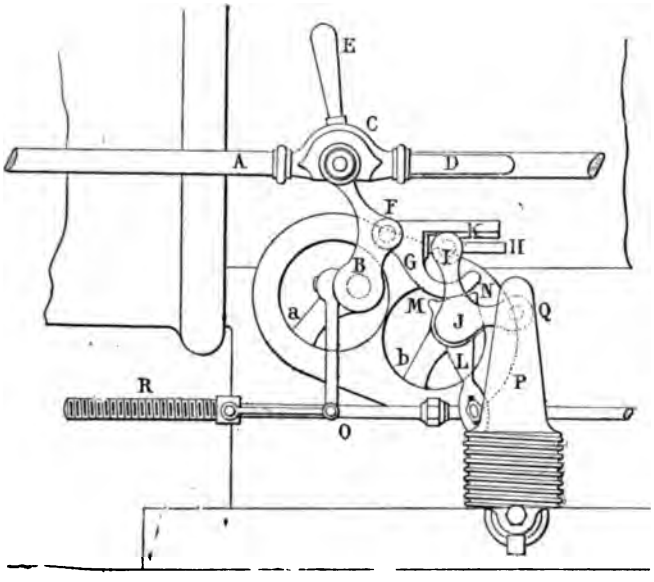


FIG. 21

Légende des figures 21, 22, 23, 24, 25.

A Cylindre.

B Tuyau d'arrivée de vapeur.

C Tuyau d'échappement conduisant la vapeur détendue au condenseur D.

E Excentrique commandant la distribution.

F Régulateur à force centrifuge dont l'action est transmise aux tiroirs par la coulisse G et la tringle H.

I, I Logements des tiroirs d'admission.

K, K Logements des tiroirs d'échappement.

La vapeur vive arrive dans l'enveloppe en *c;* en *d* est le purgeur.

e boîte à tiroir; *f* valve d'admission de vapeur affluant du générateur par B.

L Table en forme de grille taillée dans le bouchon fixé dans chacun des logements I, K.

M Tiroir à grille portant deux oreilles N sur lesquelles sont articulées des petites bielles *h*.

i Leviers à genouillère actionnant les bielles *h*

En L se trouve un levier mobile sur l'axe J, et il porte sur sa douille deux petits ergots M et N. La position de ce levier L est déterminée par le régulateur qui lui transmet ses variations par la tringle O. Ces variations ont pour effet de modifier la position de l'ergot M. (Voir fig. 21, p. 99.)

Quand la barre d'excentrique A recule et avec elle le déclic G, la partie courbe inférieure de la fourchette vient buter contre l'ergot M; le déclic se relève et le dé se désengage de la touche K; le levier coudé J devenu libre est tiré par le contre-poids à ressort P qui lui est relié par le tourillon Q, et le tiroir d'admission se ferme instantanément.

Au retour de la barre d'excentrique, la fourchette se trouve bientôt dégagée de l'ergot M; elle retombe sur le dé d'acier que la touche K ressaisit à la fin de la course, prête à ouvrir de nouveau le tiroir. Sur la tringle O se trouve un ressort spiral dont on peut varier la tension au moyen d'une simple vis à main, ce qui permet de changer le régime de vitesse avec la plus grande facilité et pendant la marche même.

Enfin si le régulateur vient à se déranger, l'ergot N se rapproche du déclic, le soulève d'une manière permanente, sans que la touche K puisse reprendre le dé d'acier I, de sorte que l'admission restant fermée, la machine s'arrête d'elle-même, ce qui prévient tout accident.

Les leviers B et J sont tous les deux fixés à l'extrémité d'un axe en acier trempé tournant dans des douilles aussi en acier.

Ces axes ont un collet qui, pressé constamment par la vapeur contre l'extrémité intérieure de la douille, forme un joint de vapeur étanche.

Tous ces détails sont d'ailleurs semblables à ceux de l'ancienne distribution Wheelock, à obturateurs coniques; comme dans l'ancienne machine Wheelock, il se trouve à chaque extrémité inférieure du cylindre deux ouvertures légèrement coniques *a*, *b*, dont l'une *b* renferme l'obturateur d'introduction, et l'autre *a* l'obturateur d'échappement; mais au lieu de cônes mobiles distributeurs, ces ouvertures reçoivent un support ou bouchon fixe qui s'y trouve fortement coïncé, comme le serait une clavette par un simple coup sec sur sa plus large extrémité.

La partie de ce bouchon fixe, située à l'intérieur du cylindre, est découpée et forme une table ou glace percée d'ouvertures longitudinales, formant ensemble une lumière d'une grandeur exceptionnelle à travers laquelle la vapeur passe très librement.

Sur cette glace travaille la grille de distribution. Cette grille est conduite par l'axe ou arbre C et S et par l'intermédiaire des leviers articulés en genouillère *i*.

L'examen du dessin (pl. 69-70) montre que quand l'excentrique sur l'arbre du volant passe à ses points morts, le déclic et les leviers articulés s'y trouvent en même temps, de sorte que la grille devient pour ainsi dire immobile, tandis que

l'effet contraire se produit quand l'excentrique est à peu près à mi-course, c'est-à-dire au moment de l'ouverture et de la fermeture des lumières. Il résulte de cette *triple* réduction ou accélération du mouvement que la grille n'a à faire qu'un parcours égal à l'une de ses ouvertures, au plus 3 ou 4 millimètres, et que ce parcours est très rapide.

La planche 69-70 montre la forme des barrettes de la glace et de la grille mobile. Il est à remarquer que quand les ouvertures sont fermées, le contact ne s'établit que sur une bande rodée de quelques millimètres de large, de sorte, qu'aussitôt que la grille avance, tout contact cesse, aussitôt la vapeur passe au-dessous des barrettes de la grille mobile, qui se trouve ainsi dégagée de toute pression, ainsi que toutes les articulations.

Il résulte de ce qui précède que le premier déplacement (c'est-à-dire alors que les barrettes sont en contact) se produit pendant que le triple système de leviers est vers son point mort, dans toute sa puissance presque illimitée, mais qu'au moment où l'ouverture doit être activée, toute pression a cessé et que cette ouverture s'opère presque instantanément avec un effort à peine sensible : il ne reste plus en effet que les points de contact laissés pour assurer la stabilité du tiroir.

Par suite aussi, au moment où le contre-poids doit suspendre l'introduction, le tiroir n'oppose pour ainsi dire aucune résistance et son action est assurée, bien que contre-poids et ressort n'aient qu'une force de quelques kilogrammes.

En fait, tous ces mouvements peuvent être mûs à la main très facilement comme il est dit plus haut, même dans les machines les plus puissantes et sous les plus hautes pressions ; aussi le même régulateur peut-il être employé pour des machines de forces différentes, bien qu'il ne soit pas plus puissant que le régulateur d'une machine à tiroirs ordinaires de quelques chevaux.

Un des avantages les plus remarquables de la disposition décrite ci-dessus, consiste en ce que chaque tiroir et son mouvement sont portés sur une pièce indépendante, simplement placée dans le cylindre, sans l'emploi d'aucun boulon, sans chapeau et sans aucune sorte de calfat, de sorte qu'un simple coup sec d'une masse en bois, à la petite extrémité de cette pièce ou support conique, permet de retirer tout le système qui peut être visité, réglé ou réparé s'il y a lieu, sur l'établi même et remis en place dans quelques minutes, ou même remplacé par un système de rechange pour éviter tout arrêt.

Enfin, comme dans l'ancienne machine Wheelock, on peut, en cas de besoin, marcher à simple effet avec les seuls distributeurs soit d'avant, soit d'arrière.

Les grilles paraîtraient devoir s'user rapidement, cependant les constructeurs affirment en avoir en service depuis quatre ans, sans qu'il y ait eu de remplacement.

Cet inconvénient, au surplus, ne serait pas très grave étant donnée la facilité de remplacement des distributeurs.

Cette machine, fort bien étudiée, est d'une construction très soignée.

La machine est munie de graisseurs Stopfer. Pour les cylindres il y a un graisseur à pression Mollerupt.

Le volant, en deux morceaux, est à courroie.

Les glissières sont cylindriques et on doit signaler un intéressant détail de construction : la crosse et le boulon de crosse sont en fonte, d'une seule pièce. Cette disposition est due à M. Wheelock.

Machine à détente asservie Pilon compound, type Farcot

(Planches 71-72)

Les nouvelles machines Pilon, type Farcot, sont caractérisées par l'emploi de la distribution Solms, gouvernée par un régulateur ordinaire dont la puissance est amplifiée par un servo-moteur.

La distribution Solms, telle qu'elle est réalisée dans ces moteurs, contient le minimum d'organes possible pour la commande du tiroir, à savoir :

1° La barre d'excentrique, dont l'extrémité est guidée par une coulisse régulatrice qui est ici une véritable coulisse et non pas la bielle oscillante plus compliquée adoptée dans certaines variantes, et 2° la bielle du tiroir qui reçoit son mouvement de cette barre.

Les tiroirs sont, par un nouveau mode d'équilibrage, à l'abri tant des pressions de la vapeur que des efforts d'inertie.

L'équilibrage contre les pressions de vapeur est obtenu par l'établissement en face de la glace du cylindre, d'une contre-glace réglable munie de contre lumières identiques rigoureusement en regard des lumières de la glace, et dans lesquelles on a eu le soin de faire régner constamment la même pression que dans les lumières des glaces principales.

Pour diminuer les effets de l'inertie, on a disposé aux extrémités supérieures des tiges des tiroirs, des couples de ressorts agissant alternativement et contrairement à ces efforts. Les efforts d'inertie sont ainsi compensés entièrement pendant toute la durée du mouvement oscillatoire.

Grâce à ces dispositions, on n'impose aux organes de commande qu'un minimum de fatigue, et le rendement de l'appareil sur l'arbre moteur ne peut être influencé que favorablement par ces dispositifs.

L'admission de la vapeur se fait par les arêtes intérieures des tiroirs, ce qui a l'avantage de faire supporter aux couvercles des boîtes à vapeur les pressions d'échappement seulement.

De plus la vapeur d'échappement trouve à la sortie des lumières, des voies plus larges que dans le cas de l'échappement par le creux de la coquille.

Chaque cylindre est garanti contre les coups d'eau par deux soupapes de sûreté.

Un système de robinets purgeurs assure de plus l'évacuation des eaux de purge de tous les cylindres et de tous les réservoirs intermédiaires.

Le régulateur isochrone Farcot, à bielles et bras croisés a une nouvelle forme simplifiée en ce sens que les bielles croisées sont remplacées par un simple mouvement de roulement des pièces centrifuges sous le contre-poids, lequel vient reposer sur elles sans interposition d'aucun autre organe. Ce régulateur, très sensible et très isochrone, communique son mouvement aux rênes d'un servo-moteur hydraulique, lequel attaque directement la coulisse.

L'appareil servo-moteur, d'une constitution simple et robuste, fonctionne ici dans des conditions nouvelles puisque, au lieu d'être actionné par la vapeur même, au lieu de comporter par conséquent les variations inévitables d'un fluide élastique et d'exiger l'adjonction d'un cylindre à huile pour les amortir, il réunit en un seul cylindre les avantages de la vapeur et ceux du liquide incompressible. Il réalise ce résultat en demandant sa force motrice non pas à la vapeur même, mais à une eau mise par elle en pression, comme par exemple l'eau de la chaudière ou l'eau des purges de la conduite ou de la boîte de tiroir.

La mise en marche de ces machines et leur arrêt peuvent être effectués au gré de l'opérateur aussi rapidement et aussi progressivement qu'on le désire au moyen d'un petit volant à main qui permet, par l'intermédiaire d'une vis, de dominer à cet instant le régulateur en réglant la vitesse de son mouvement de chute ou de montée. Une fois en marche, on laisse au contraire le régulateur entièrement libre dans son action.

Pour faciliter au personnel la conduite de ces appareils extrêmement simples par eux-mêmes, on a pourvu de plaques indicatrices tous les robinets et leviers et tous les organes à manœuvrer, ce qui rend impossible toutes fausses manœuvres.

Tous les graissages sont automatiques par des graisseurs à écoulement continu.

La pompe du condenseur est mue par une manivelle calée sur l'arbre moteur. Le bâti creux forme chambre de condensation.

La maison Farcot expose une machine pilon à triple expansion munie de la même distribution.

Les pompes de condensation sont mues par des excentriques placés sur l'arbre moteur.

Les graisseurs des tourillons moteurs sont placés sur le corps des bielles.

Machines compound, système Sautter et Lemonnier

(Planches 73-74)

Ces machines spéciales pour actionner des dynamos sont très répandues dans la marine. C'est une de ces machines qui sert à l'éclairage du phare de la tour Eiffel, et bien que ce moteur développe 70 chevaux alors qu'il est du type de 45 chevaux, il donne complète satisfaction depuis sa mise en route.

Les machines compound Sautter et Lemonnier peuvent se ramener à trois types.

I. *Moteur pilon à deux cylindres compound.* — Les cylindres situés à la partie supérieure, une seule glissière. L'ensemble facilement visitable. Tous les coussinets sont à rattrapage de jeu et le graissage se fait à l'aide de la graisse Dégremont.

Le moteur type « Indomptable » a des cylindres de 310 et 206 millimètres, et une course de 170 millimètres. Ce qui donne un rapport de 2,26 entre les volumes.

Cette machine en marche normale, à 350 tours et 5 kilogrammes à l'admission, développe 30 chevaux. La consommation n'atteint pas, dans ces conditions, d'après les constructeurs, 10 kilogrammespar cheval effectif au frein.

Cette machine peut donner 45 chevaux.

Le cylindre à haute pression a un tiroir double à détente variable, le cylindre à basse pression a un tiroir simple.

La maison Sautter et Lemonnier expose un moteur du même type d'une puissance de 120 chevaux, dont la consommation, avec 6 kilogrammes à l'admission, n'atteint pas 9 kilogrammes par cheval effectif.

C'est aussi à ce type qu'appartient la machine du phare de la tour Eiffel.

Les cylindres ont des diamètres de 260 et 380 millimètres et une course de 200. Soit un rapport de 2.13.

2° *Moteur compound à axe central, type « Troude ».* — Les cylindres sont placés à la partie inférieure et servent de bâti. L'arbre de couche forme l'axe de l'ensemble et porte la dynamo.

Cette machine développe 30 chevaux à 350 tours, et l'ensemble n'occupe que $1^m,40 \times 2.00 \times 1.05$.

Ces machines sont bien étudiées et bien appropriées à leurs grandes vitesses de régime.

Machine à vapeur horizontale, à triple détente, force normale 100 chevaux effectifs, de la Maison Sulzer

(Planches 75-76)

L'idée fondamentale, qui a guidé dans la construction de cette machine, c'est de pouvoir adapter à des moteurs de faible puissance le système à triple détente. Pour ce but, MM. Sulzer ont supposé que la disposition normale, pour des machines horizontales à trois cylindres, avec le premier et le second l'un derrière l'autre, et le troisième accouplé sous 90°, ne pourrait pas être applicable à de petites machines, celles-ci devenant trop compliquées sous le rapport d'avoir trop de détails pour la distribution, trop de presse-étoupes, etc.

La machine exposée se compose :

1° D'un cylindre à haute pression, à simple effet, de 350 millimètres de diamètre; 2° d'un cylindre à moyenne pression, aussi à simple effet, de 525 millimètres de diamètre; et 3° d'un cylindre à basse pression, à double effet, de 700 millimètres de diamètre; course des pistons 750 millimètres, faisant 85 à 100 tours par minute.

En travaillant avec une pression de 10 atmosphères au petit cylindre, avec condensation et à 85 tours, la machine développera, avec une admission de 10, 20, 30, 50 %, un travail de 62, 78, 100, 120 chevaux effectifs.

Le premier cylindre est amovible, et, pour pouvoir le démonter facilement, il peut être posé sur des galets, de manière à pouvoir le retirer aisément sur des rails. C'est un travail facile, semblable à celui des foyers amovibles des chaudières tubulaires. Pour ce but, on n'à qu'à interrompre la communication aux conduites de vapeur pendant que toute la distribution du cylindre reste intacte, grâce au manchon d'accouplement sur l'arbre de distribution.

Les trois pistons ne forment qu'une seule pièce, et, pour éviter les pertes de vapeur du cylindre à haute pression à celui à basse pression, on a admis dans cet endroit une double garniture d'anneaux. L'effort sur le piston dans ces machines n'est pas aussi régulier qu'aux machines de construction normale, où les forces sont les mêmes en avant et en arrière; mais, en augmentant le poids du volant, on obtient une marche satisfaisante, surtout en portant encore au maximum le nombre de tours que la distribution à soupapes permet.

Le volant, très lourd, porte cinq gorges pour courroies.

La machine, construite d'après ce principe, n'est munie que d'une manivelle, d'une bielle, d'une crossette, d'une tige de pistons, d'un seul corps de pistons avec trois pistons et un seul presse-étoupe pour la tige des pistons, et, au lieu de douze soupapes pour les trois cylindres, on n'en a que huit, dont une seule reçoit

le mouvement variable par le régulateur, tandis que les sept autres sont actionnées par des cames.

Les trois cylindres sont munis d'enveloppe; le passage du premier au second se fait par un tuyau, tandis que celui du second au troisième se fait directement, le second et le troisième cylindre étant coulés d'une seule pièce.

Cette machine est certainement une des plus originales de l'Exposition, par sa conception ingénieuse et son mode de construction; mais, avant de nous prononcer sur sa valeur économique, nous attendrons les résultats de la pratique, étant donné que les fuites des segments des pistons dans une telle machine arrivent à troubler considérablement sa marche et à occasionner des dépenses élevées de vapeur; enfin, que les difficultés de montage et de démontage puissent se montrer dans la pratique et venir balancer les avantages incontestables d'avoir une seule tige, un seul presse-étoupes, etc.

Machine verticale à triple expansion

La maison Sulzer expose en outre une autre machine à triple expansion.

Cette machine, du type extérieur de machine-pilon de bateau, a pour dimensions principales :

Diamètre du cylindre à haute pression	400 $^m/_m$
» » moyenne pression . . .	600 $^m/_m$
» » basse » . . .	900 $^m/_m$
Course des pistons	600 $^m/_m$
Nombre de tours par minute.	100 à 125

En travaillant avec une pression de 10 atmosphères, au petit cylindre, avec condensation et à 125 tours par minute, la machine développera, avec une admission de 20, 30, 40 %, un travail de 240, 300, 370 chevaux *effectifs*.

Contrairement à ce qui a été dit pour les machines horizontales à triple détente, cette machine représente le type d'un moteur de grande puissance, et, d'après MM. Sulzer, celle exposée représente le modèle le plus petit de ce type; aussi la machine est munie de tout ce qui est nécessaire pour un grand moteur, comme : système très complet de graissage automatique, appareil vireur à vapeur, etc.

Le type vertical puissant a sans doute l'avantage de supprimer l'influence des poids des pistons; mais, quant à la stabilité et à l'accessibilité de tous ses organes, il est certain qu'il n'est pas aussi pratique que celui des machines hori-

zontales, quoique l'on soit arrivé dans le cas présent, à avoir les meilleurs résultats possibles.

L'inclinaison des colonnes d'avant, par exemple, augmente beaucoup la solidité.

La construction de la machine exposée permet au mécanicien de surveiller toutes les pièces, sans être obligé de monter des escaliers, plates-formes, etc., pour le service normal.

Pour arriver à ce but, tous les mouvements de la distribution, par exemple, se font du côté inférieur des cylindres; il n'y a rien à surveiller au-dessus de ces derniers, si toutefois il ne s'agit que d'une réparation, comme, par exemple, de sortir un piston, une soupape, etc.

Cette machine a cela de particulier, qu'elle a la soupape comme moyen exclusif de distribution, c'est-à-dire que toutes les soupapes ferment vers le bas,et que leur propre poids, joint à une légère pression de la vapeur, garantissent la fermeture étanche. Il est vrai que, par cet arrangement, il résulte une augmentation de l'espace nuisible, pour certaines soupapes, mais principalement pour les machines à triple détente, où la compression atteint facilement la pression initiale; cette question de l'espace nuisible ne joue pas un rôle dominant.

Les trois cylindres sont disposés de façon à avoir celui à basse pression au milieu, et cela pour obtenir une disposition symétrique et pour mieux pouvoir y placer la pompe à air et celle d'alimentation actionnées à l'aide d'un balancier, etc. Par cet arrangement, les poids des trois pistons s'équilibrent exactement en agissant sur les trois manivelles disposées à 120°.

Cette disposition des cylindres est d'autant plus adoptable que MM. Sulzer ont renoncé tout d'abord à l'application des passages directs d'un cylindre à l'autre, sans tuyautage intermédiaire, ayant trouvé que de tels joints auraient couru trop de risques. Ils ont donc préféré appliquer deux tuyaux dont les joints peuvent être facilement accessibles en cas de besoin, et par conséquent, une fois les tuyaux appliqués, il n'y avait pas de raison de disposer les cylindres suivant l'ordre de détente, disposition qui n'aurait pas été favorable, surtout en vue de l'aspect extérieur.

Les trois cylindres sont supportés d'un côté par des bâtis soutenant les glissières, et de l'autre par de puissantes colonnes fixées d'une manière très solide à la plaque de fondation. Cette dernière, coulée d'une seule pièce, renferme les quatre coussinets principaux pour l'arbre de couche à trois coudes, lequel, comme d'habitude pour les machines marines, est du type composé; les deux parties extérieures reposent chacune sur deux coussinets, pendant que le coude du milieu est boulonné aux deux autres par de fortes brides.

Les axes de toutes les soupapes (à l'exception de celles supérieures au grand cylindre) sont disposés dans un seul plan vertical qui est parallèle aux axes des cylindres, et aussi près que possible de ceux-ci. L'arbre de distribution étant

placé dans le même plan, actionne directement toutes les soupapes par des cames, à l'exception des deux soupapes d'admission du cylindre à haute pression, lesquelles sont mises en mouvement par un mécanisme à déclic très simple, mais spécialement adapté à un grand nombre de tours. Dans cette intention, on a suivi la disposition dont nous joignons le schéma du mouvement de distribution adopté pour la machine exposée en 1878, l'ouverture des soupapes d'entrée se faisant presque sans choc, pas trop vite, et réduisant le plus possible l'influence des masses en mouvement.

Avec un coussinet d'air, lequel, comme auprès de toutes les soupapes d'admission Sulzer, adoucit la fermeture, et, grâce à toute la disposition et les dimensions de ce mouvement, cette machine peut donner jusqu'à 125 et 140 tours par minute.

L'arbre de la distribution est logé dans une espèce de tuyau, qui est rempli d'huile jusqu'à une certaine hauteur, de manière que toutes les cames y plongent. Le renouvellement de cette huile fait partie du système central de graissage.

Le régulateur construit pour grande vitesse sert en même temps pour transmettre le mouvement de l'arbre de couche à celui de distribution.

Le graissage central est desservi par une petite pompe rotative qui est placée à l'intérieur de la plaque de la fondation, assez bas pour que toutes les huiles des paliers, etc., etc., y retournent d'elles-mêmes, de façon à pouvoir être refoulées en haut sans que la pompe doive vaincre une hauteur d'aspiration.

Le vireur à vapeur est disposé symétriquement au régulateur, et transmet le mouvement directement à arbre de couche par des engrenages mobiles.

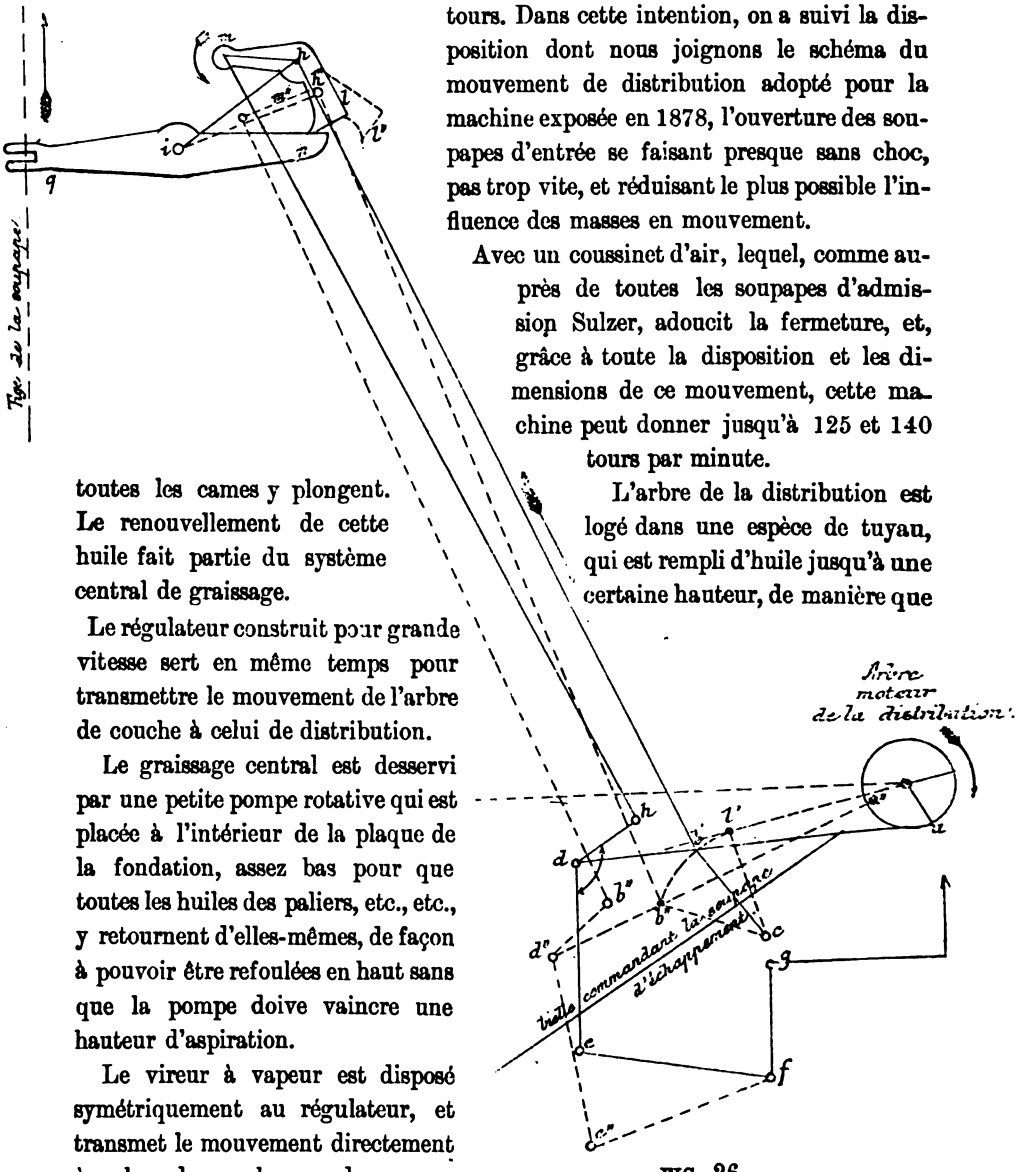


FIG. 26

Tous les organes de la machine sont disposés de façon à permettre de pro-

longer l'arbre de couche d'un côté ou de l'autre, ou des deux, ainsi que de placer des volants ou des poulies tout près des paliers extérieurs de la machine même.

Le volant en fonte, très puissant, est en deux pièces, et porte dix gorges pour les câbles.

Le condenseur a sa pompe actionnée par un balancier prenant son mouvement sur la crosse du piston du milieu.

Dans ces deux machines nouvelles, la maison Sulzer soutient sa haute réputation, et, à part les réserves faites au début sur la soupape employée comme distributeur, on ne peut qu'approuver les recherches de l'ingénieur mécanicien, qui tendent à la production du cheval vapeur, avec la plus faible quantité de vapeur possible. Quant à l'exécution matérielle des diverses machines exposées par la maison Sulzer, elle est parfaite.

Machine Willans à triple expansion

(Planches 75-76).

Cette machine, dont nous ne connaissons pas de spécimen en France, a plusieurs applications en Angleterre, soit dans des mines, soit dans des usines élévatoires.

Elle se compose de trois cylindres superposés, le plus petit, à haute pression, étant à la partie supérieure. La pression initiale de la vapeur est de 10 kilogrammes.

La tige commune des pistons est un fourreau percé d'orifices ; ces orifices constituent les lumières d'admission et d'échappement, qui sont alternativement ouvertes et fermées par un distributeur central.

Ce distributeur central se compose d'une tige portant une série de pistons obturateurs, *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, *f*, dont le mouvement de va-et-vient est donné par un excentrique.

Cette machine est à simple effet, de haut en bas. Le relèvement des pistons a lieu sous l'action du volant V, et, sous l'action de l'air comprimé dans un cylindre spécial C, par les têtes de bielles qui forment piston, de sorte qu'on a une pression constante sur les bielles.

La machine fonctionne de la manière suivante : au commencement de la course descendante, le piston *f* se présente au-dessous des orifices *g*, et permet l'admission de vapeur dans le cylindre à haute pression ; en raison des mouvements relatifs, *f* ferme ces orifices quand le piston a effectué les 3/4 de sa course,

mais la suppression d'introduction de vapeur est effectuée plus tôt, parce que les orifices 10 quittent la chambre de vapeur en passant à travers le collet permettant à la tige du piston d'aller d'un cylindre à l'autre. On peut d'ailleurs obtenir la détente au point voulu de la course en changeant la position des orifices 10 ou en modifiant la hauteur du collet.

La vapeur agit ensuite en se détendant dans le cylindre à haute pression ; le piston arrive alors à l'extrémité de sa course, et l'obturateur *f*, passant au-dessus des orifices 9, alors que *e* ferme d'une façon permanente la communication entre les orifices 8 et 7, la vapeur peut pénétrer au-dessous du piston, dans ce qu'on appelle le premier récepteur R^1; pendant la course ascendante, obtenue par le mouvement du volant, la vapeur ne change ainsi ni de volume, ni de pression ; elle pourrait être mise en communication avec l'atmosphère pour permettre l'échappement, ce qui donnerait un cycle complet de machine à simple effet.

Mais, comme il s'agit d'un fonctionnement à triple expansion, au commencement de la course suivante, la vapeur passe du récepteur par les orifices 7 dans la tige creuse, et de là par ceux marqués 6 dans le cylindre intermédiaire, jusqu'à la suppression d'admission produite par le passage des orifices 7 à travers le collet du cylindre.

Dans la course ascendante qui suit, la vapeur passe par les orifices 6 et 5 dans le second récepteur R^2 ; dans la course descendante, elle pénètre dans le cylindre à basse pression par les orifices 4 et 3; enfin, lorsque le piston remonte, elle va par 3 et 2 dans la chambre d'échappement E communiquant avec l'atmosphère. Il faut donc trois révolutions complètes entre l'admission et l'échappement. La pression de la chaudière agit constamment sur l'obturateur marqué *g*; la bielle d'excentrique est ainsi maintenue aussi bien dans la course ascendante que dans la course descendante.

Pour les pistons, c'est un cas différent; ils sont beaucoup plus lourds, et, pendant la course ascendante, il y a équilibre entre les pressions qui s'exercent en dessus et en dessous, puisqu'à ce moment la communication est établie.

On pourrait faire figurer dans ce chapitre plusieurs des machines à grande vitesse que nous décrirons plus loin, soit comme compound ordinaires, soit comme compound à triple expansion, par exemple, pour la machine Weyher et Richemond.

Nous devons aussi mentionner la machine construite par M. Powell de Rouen, qui est à quatre cylindres et peut marcher à triple et quadruple détente.

Nous décrivons plus loin, dans les machines horizontales à grande vitesse, une machine compound Armington et Sims.

MACHINES HORIZONTALES A GRANDE VITESSE

Machines Armington et Sims
exposées par la Société Alsacienne de constructions mécaniques

(Planches 77-78)

Les trois machines à grande vitesse exposées par la Société alsacienne sont toutes construites d'après le type Armington et Sims de Providence (Etats-Unis), dont elles représentent trois variantes.

L'une est la machine normale pour éclairage électrique.

C'est une machine de la force effective de 100 chevaux ayant les dimensions principales suivantes :

Diamètre du cylindre à vapeur	370 $^m/_m$
Course du piston	380 $^m/_m$
Vitesse par minute	250 tours

Ce type convient de préférence pour la commande directe, par courroies, de dynamos marchant à grande vitesse. Il est beaucoup employé dans les installations particulières d'éclairage électrique et a été adopté dans plusieurs stations centrales. Cette machine est autrement robuste : le bâti, de formes compactes, est posé sur un châssis en fonte, remplaçant la partie de la fondation qui d'ordinaire dépasse le sol, et porte, venus de fonte, deux paliers de fortes dimensions pour l'arbre coudé. Les glissières sont planes. Une poulie-volant est montée sur chaque extrémité de ce dernier. Cet arbre coudé a une disposition particulière. Les deux bras de l'essieu sont circulaires et portent deux plateaux en fonte, excentrés par rapport aux bras de l'essieu, mais concentriques à l'arbre, portant les masses équilibrant les pièces en mouvement. Ces deux plateaux sont posés à chaud sur l'essieu.

A l'une des extrémités de l'arbre se trouve l'excentrique de distribution sur lequel nous reviendrons plus loin.

Le régulateur Armington est placé dans l'une des poulies-volants.

La seconde machine de la force de 75 chevaux a les dimensions principales suivantes :

mais la suppression d'introduction de vapeur est effectuée plus tôt, parce que les orifices 10 quittent la chambre de vapeur en passant à travers le collet permettant à la tige du piston d'aller d'un cylindre à l'autre. On peut d'ailleurs obtenir la détente au point voulu de la course en changeant la position des orifices 10 ou en modifiant la hauteur du collet.

La vapeur agit ensuite en se détendant dans le cylindre à haute pression ; le piston arrive alors à l'extrémité de sa course, et l'obturateur *f*, passant au-dessus des orifices 9, alors que *e* ferme d'une façon permanente la communication entre les orifices 8 et 7, la vapeur peut pénétrer au-dessous du piston, dans ce qu'on appelle le premier récepteur R^1; pendant la course ascendante, obtenue par le mouvement du volant, la vapeur ne change ainsi ni de volume, ni de pression ; elle pourrait être mise en communication avec l'atmosphère pour permettre l'échappement, ce qui donnerait un cycle complet de machine à simple effet.

Mais, comme il s'agit d'un fonctionnement à triple expansion, au commencement de la course suivante, la vapeur passe du récepteur par les orifices 7 dans la tige creuse, et de là par ceux marqués 6 dans le cylindre intermédiaire, jusqu'à la suppression d'admission produite par le passage des orifices 7 à travers le collet du cylindre.

Dans la course ascendante qui suit, la vapeur passe par les orifices 6 et 5 dans le second récepteur R^2 ; dans la course descendante, elle pénètre dans le cylindre à basse pression par les orifices 4 et 3; enfin, lorsque le piston remonte, elle va par 3 et 2 dans la chambre d'échappement E communiquant avec l'atmosphère. Il faut donc trois révolutions complètes entre l'admission et l'échappement. La pression de la chaudière agit constamment sur l'obturateur marqué *g*; la bielle d'excentrique est ainsi maintenue aussi bien dans la course ascendante que dans la course descendante.

Pour les pistons, c'est un cas différent ; ils sont beaucoup plus lourds, et, pendant la course ascendante, il y a équilibre entre les pressions qui s'exercent en dessus et en dessous, puisqu'à ce moment la communication est établie.

On pourrait faire figurer dans ce chapitre plusieurs des machines à grande vitesse que nous décrirons plus loin, soit comme compound ordinaires, soit comme compound à triple expansion, par exemple, pour la machine Weyher et Richemond.

Nous devons aussi mentionner la machine construite par M. Powell de Rouen, qui est à quatre cylindres et peut marcher à triple et quadruple détente.

Nous décrivons plus loin, dans les machines horizontales à grande vitesse, une machine compound Armington et Sims.

MACHINES HORIZONTALES A GRANDE VITESSE

Machines Armington et Sims
exposées par la Société Alsacienne de constructions mécaniques

(Planches 77-78)

Les trois machines à grande vitesse exposées par la Société alsacienne sont toutes construites d'après le type Armington et Sims de Providence (Etats-Unis), dont elles représentent trois variantes.

L'une est la machine normale pour éclairage électrique.

C'est une machine de la force effective de 100 chevaux ayant les dimensions principales suivantes :

Diamètre du cylindre à vapeur	370 $^m/_m$
Course du piston	380 $^m/_m$
Vitesse par minute	250 tours

Ce type convient de préférence pour la commande directe, par courroies, de dynamos marchant à grande vitesse. Il est beaucoup employé dans les installations particulières d'éclairage électrique et a été adopté dans plusieurs stations centrales. Cette machine est autrement robuste : le bâti, de formes compactes, est posé sur un châssis en fonte, remplaçant la partie de la fondation qui d'ordinaire dépasse le sol, et porte, venus de fonte, deux paliers de fortes dimensions pour l'arbre coudé. Les glissières sont planes. Une poulie-volant est montée sur chaque extrémité de ce dernier. Cet arbre coudé a une disposition particulière. Les deux bras de l'essieu sont circulaires et portent deux plateaux en fonte, excentrés par rapport aux bras de l'essieu, mais concentriques à l'arbre, portant les masses équilibrant les pièces en mouvement. Ces deux plateaux sont posés à chaud sur l'essieu.

A l'une des extrémités de l'arbre se trouve l'excentrique de distribution sur lequel nous reviendrons plus loin.

Le régulateur Armington est placé dans l'une des poulies-volants.

La seconde machine de la force de 75 chevaux a les dimensions principales suivantes :

Diamètre du cylindre.	360 $^{m}/_{m}$
Course du piston	610 $^{m}/_{m}$
Vitesse par minute	150 tours

C'est le type qui convient pour les installations industrielles. La machine a plus de course et fait moins de tours.

Le bâti, en forme de baïonnette, n'est plus double comme le précédent : il a un seul palier moteur; l'arbre n'est plus coudé; son extrémité est portée par un palier spécial.

Le bâti est toujours très rigide, mais se rapproche des formes des machines ordinaires.

La troisième machine est une compound de la force de 150 chevaux effectifs. Les dimensions principales sont les suivantes :

Diamètre de cylindres	480,330
Course des pistons	300 $^{m}/_{m}$
Rapport des volumes	2,11
Vitesse par minute	255 tours

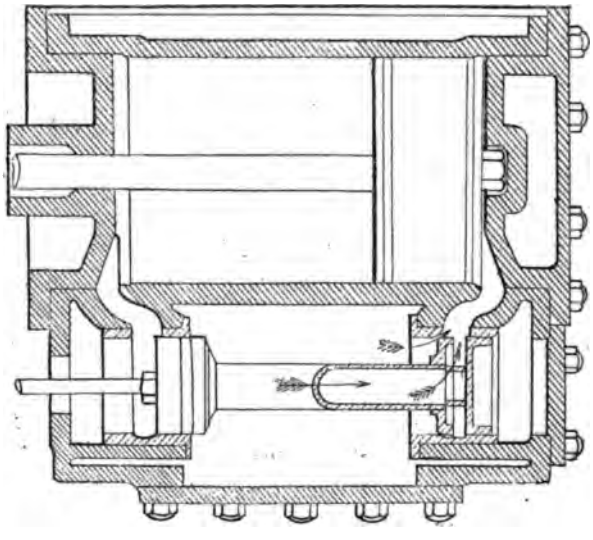


FIG. 27

C'est le type qui convient pour les installations d'éclairage électrique d'une certaine importance. Sa disposition générale rappelle celle de la première machine. Celle exposée est disposée pour conduire une forte dynamo, placée directement sur l'arbre moteur.

La partie la plus intéressante de ces trois machines c'est leur distribution et leur régulateur.

La boîte à vapeur est venue de fonte au cylindre. Elle renferme un tiroir piston dont la disposition est indiquée par la figure 22. La vapeur arrive au centre de la boîte par un tuyau à large section, l'échappement se fait par les extrémités. Lorsque l'une des arêtes intérieures du tiroir ouvre à l'admission l'orifice d'entrée, l'autre bout du tiroir entre dans la boîte, de sorte que la vapeur trouve deux passages d'entrée au cylindre. Les ouvertures sont, de la sorte, doublées; aussi malgré la grande vitesse du piston, les diagrammes n'indiquent aucun laminage de vapeur à l'admission. En outre, cette disposition réduit la course du tiroir et, par conséquent, les dimensions de tous les organes de distribution.

Le tiroir est commandé par un excentrique placé sur l'arbre moteur et muni du régulateur Armington que nous avons décrit.

Machine Lecouteux et Garnier horizontale à grande vitesse

(Planches 79-80)

La machine Corliss ordinaire a été modifiée de façon à permettre les grandes vitesses avec quatre distributeurs, et dans ce but, MM. Lecouteux et Garnier ont supprimé le déclenchement, disposition que nous trouverons également appliquée à la machine Frikart compound tandem que nous décrirons plus loin.

Ces machines employées à la station municipale d'électricité installée sous les Halles centrales développent chacune 170 chevaux à 180 tours par minute et avec 7 kilogrammes de pression.

Ces machines ont des glissières à section triangulaire et les patins des crosses sont garnis en métal antifriction.

Le graissage employé pour ces machines est le graissage Stopfer.

Le régulateur à force centrifuge agit par l'intermédiaire de la barre d'excentrique sur les deux tiroirs d'admission de vapeur. Les deux tiroirs d'échappement sont commandés par un second excentrique indépendant du premier.

La course des tiroirs d'admission est réglée par la course variable de l'excentrique du régulateur.

En outre de ce régulateur, pour les stations d'électricité, cette machine possède un régulateur détendeur qui agit sur la pression dans la conduite d'amenée de vapeur et dont le but est le suivant :

Le travail d'une station centrale d'électricité étant essentiellement variable fallait prévoir que les moteurs travaillant normalement et même chargés au maximum pouvaient être instantanément déchargés de tout ou de la plus grande partie de leur travail ; ou réciproquement que les moteurs marchant à vide pouvaient être brusquement chargés.

Ces acoups si rapides, surtout quand il s'agit d'électricité, devaient avoir pour conséquence de provoquer un ralentissement ou un accroissement de vitesse sensible, désagréable, et par dessus tout nuisible à la conservation du matériel électrique, des lampes à incandescence en particulier. Il fallait donc rendre aussi insensibles que possible les variations de vitesse des moteurs tout en permettant l'action du régulateur basée sur ces variations mêmes. Or cette action est retardée par le frein modérateur et c'est pour annuler ce retard qu'on a placé un régulateur n'agissant alors que sur la pression du régulateur centrifuge.

Le second régulateur, appelé régulateur-détendeur, ressemble aux régulateurs ordinaires à boules et remplit deux fonctions particulières et indépendantes de celle du régulateur principal de détente : 1° il doit créer une différence de pression constante entre la boîte à vapeur et la conduite d'amenée ; 2° il doit empêcher toute variation brusque de vitesse du moteur en donnant le temps au régulateur principal de prendre la position d'équilibre correspondant à la nouvelle charge. La vitesse de rotation de ce régulateur du type Porter est très grande et sa course est très petite.

Pour une variation d'un seul tour à la machine il peut passer d'un point extrême à l'autre de sa course en occupant successivement toutes les positions intermédiaires.

L'obturateur est installé sur le robinet de prise de vapeur même et se compose d'un anneau monté sur un axe et pouvant tourner sans frottement dans un autre anneau fixe. Des orifices sont percés au travers de chacun de ces anneaux pour le passage de la vapeur, et leur section est calculée de telle sorte qu'à la position de régime du régulateur il y ait une différence de pression réglable à volonté, et que, pour les positions extrêmes les orifices soient ou complètement fermés ou complètement ouverts.

L'axe sur lequel est monté l'anneau n'a pas de garniture pour diminuer le frottement ; la longueur de la petite bielle de commande est variable à volonté pour régler la position de régime de l'obturateur, et un petit contre-poids auxiliaire glissant le long du levier sert à régler la marche normale de l'appareil.

Toutes les précautions étant prises pour que les frottements soient réduits au minimum et que le régulateur fonctionne avec une certitude absolue, on peut dire qu'il est possible d'arriver à maintenir constant le régime de la vitesse du moteur, quelles que soient les variations qu'on lui fera subir, puisque tous les écarts peuvent être annulés en un tour, ce qui représente 1/3 de seconde pour ces machines marchant à 180 tours par minute.

Malgré l'ingéniosité de cet appareil, nous préférons les autres types à grande vitesse créés par la maison Lecouteux et Garnier où la régularité ne dépend que d'un seul appareil.

Moteur américain « Straight-Line » construit par Steinlen et Cie, de Mulhouse

(Planches 81-82)

Ce moteur à grande vitesse et à cylindre unique présente des particularités de construction fort intéressantes.

Le cylindre monté sur socle a 325 millimètres de diamètre et 450 de course.

La glissière très robuste est supportée par un bâti d'une grande rigidité qui va en s'élargissant jusqu'au support des paliers de l'arbre moteur.

La bielle attaque un maneton placé entre les moyeux de deux volants formant plateaux manivelles.

Le tiroir est équilibré et actionné par un excentrique soumis à l'action d'un régulateur à force centrifuge dont nous donnons le dessin et analogue à ceux que nous avons déjà décrits.

La tête de bielle est du type de celles employées dans la marine. Le graissage des collets du maneton peut se faire de la jante du volant à l'aide d'un canal dirigé selon un rayon du volant C C'.

Le volant à jante creuse est trop faible, mais c'est là un défaut facile à corriger et cette machine donne jusqu'à présent de bons résultats et nécessite peu d'entretien.

MACHINES VERTICALES A GRANDE VITESSE

Machine Pilon, construite par MM. Lecouteux et Garnier

(Planches 83-84)

Ces machines sont construites depuis 600 tours par minute pour des machines de 10 chevaux ayant 120 millimètres de course, jusqu'à 300 tours pour des machines de 150 chevaux ayant 330 millimètres de course ; elles sont spécialement destinées à la lumière électrique.

La planche 83-84 montre leur mode de construction.

Le condenseur est sur le côté et mis en mouvement par une bielle actionnée par l'arbre moteur.

Les glissières sont à section circulaire.

Il y a trois particularités à signaler dans ces machines :

1° Le régulateur à force centrifuge que nous avons déjà décrit au commencement de ce travail, et sur lequel nous ne reviendrons pas ;

2° Le tiroir ;

3° L'arbre-manivelle, qui est en cinq parties.

Le tiroir est composé de deux parties cylindriques distinctes, réunies par une tige en acier, et enveloppées par un segment en fonte élastique garantissant l'étanchéité. La boîte du tiroir, alésée d'abord, est rodée ensuite, de manière à assurer un contact parfait entre la surface et les segments qui, eux-mêmes, sont ajustés à la façon ordinaire. Comme ce tiroir travaille verticalement à très grande vitesse, il a besoin d'être parfaitement équilibré pour que le travail de l'excentrique moteur soit faible. Pour y arriver, le piston supérieur est légèrement plus grand que le piston inférieur, de façon à faire équilibre au poids total des pièces du tiroir.

Le joint de chaque segment est gardé par une barrette en fonte qui relie l'orifice.

L'arbre-manivelle est fait en cinq parties ; c'est avec le régulateur et le tiroir une des particularités de la machine : les deux coudes sont formés de deux plateaux à contrepoids en acier coulé, rapportés à chaud ou à la presse à l'extrémité des deux portions de l'arbre travaillant dans les paliers, et le touril lon qui sert de trait d'union est lui-même rapporté à chaud dans les deux plateaux, après avoir été rodé. Le travail d'assemblage de toutes ces parties doit être fait avec le plus grand soin et au moyen de montages spéciaux qui en assurent la précision. Les avantages de ce mode de construction sont assez grands pour qu'on l'ait adopté, en prenant toutes les précautions nécessaires. Il permet, en effet, de tremper et rectifier sans danger les fusées de l'arbre et le manneton, c'est-à-dire les parties soumises aux plus grands efforts, et susceptibles d'usure, et aussi d'équilibrer rigoureusement le poids des pièces au moyen des évidements réservés dans les plateaux-manivelles dans lesquels on coule du plomb. L'une des conditions les plus importantes à réaliser dans les machines à grande vitesse, c'est l'équilibre aussi parfait que possible des pièces en mouvement. Il n'y a pas d'autre cause, quelquefois, aux défauts de fixité et de régularité que les lampes à incandescence accusent avec certaines machines, et aux usures rapides des surfaces frottantes.

L'arbre moteur une fois assemblé est reporté sur la machine à rectifier, qui finit les fusées comme s'il était d'une seule pièce. Ces fusées reposent sur de coussinets garnis de métal blanc, comme le maneton dans le coussinet de la

bielle, de sorte que toutes les surfaces en contact qui travaillent et fatiguent le plus, étant convenablement lubrifiées, composées d'une part d'acier trempé et rectifié, et d'autre part, de métal blanc, n'offrent que peu de résistance au frottement. Par suite, les craintes d'échauffement sont diminuées et l'usure est réduite au minimum.

La Maison Lecouteux et Garnier construit également des machines horizontales semblables dans tous leurs détails à celle que nous venons de décrire.

Ces machines sont adoptées quand la disposition des locaux l'exige. Deux de ces machines sont employées à l'une des stations d'électricité situées sur la berge de la Seine, à l'Exposition ; elles sont de 150 chevaux chacune.

Ateliers de construction d'Oerlikon (près Zurich)

(Planches 85 à 88)

Les machines exposées par les ateliers d'Oerlikon sont fort remarquables au point de vue de leur construction toute spéciale, à cause de leur grande vitesse.

Ces machines, du système Hoffmann, sont verticales, ce qui permet d'avoir un faible emplacement, un piston avec une seule tige, etc. L'arbre, horizontal à manivelles, est soutenu par une série de paliers ; il est en deux parties, reliées par des plateaux boulonnés.

L'inconvénient d'avoir plusieurs paliers en ligne est diminué par ce fait qu'ils font partie d'une seule plaque de fondation très rigide, car ils ne sont pas séparés par des solutions de continuité profondes. De cette facon, l'arbre, très soutenu, ne travaille pas à la flexion.

Le condenseur, sur le côté, est actionné par un excentrique calé sur l'arbre moteur.

La section des glissières est circulaire.

Les pièces en mouvement de la machine ont été allégées le plus possible. Les corps des boutons et les tiges de piston sont percés dans leur axe, afin d'avoir une section minimum égale sur une grande longueur de ces pièces, et d'éviter ainsi des ruptures sous l'action des chocs répétés pendant la marche.

Les pistons sont forgés en acier fondu et sont de forme conique, afin de pouvoir diminuer leur épaisseur.

Les machines exposées sont au nombre de quatre, dont deux sont à examiner plus spécialement. L'une, de 200 chevaux effectifs, faisant 180 tours ; l'autre, de 60 chevaux, faisant 360 tours et actionnant directement une dynamo.

Ces deux machines sont du système Woolf, avec manivelles à 180 degrés et la distribution Hoffmann.

La distribution de la vapeur se fait au moyen de tiroirs cylindriques commandés par les bielles d'excentriques, à l'aide d'une seule articulation.

Les cylindres à haute pression ont deux tiroirs concentriques l'un dans l'autre.

Le tiroir extérieur détermine le mouvement d'admission de la vapeur et son échappement ; le tiroir intérieur, le point de commencement de la détente. C'est donc un tiroir de Meyer transformé en tiroir circulaire.

L'épure donne, par le tracé de Zeuner, les diverses phases d'admission obtenues avec ce tiroir.

Le tiroir intérieur du cylindre à haute pression agit sur la détente au moyen d'un régulateur à force centrifuge analogue à celui que nous avons décrit dans la première partie de ce travail: Armington, Lecouteux et Garnier, mais présensentant certaines particularités intéressantes dans la disposition de l'excentrique mobile, dans l'emploi d'un seul ressort antagoniste qui agit avec des forces égales sur les deux masses centrifuges.

Les dimensions de la machine Woolf de 200 chevaux sont les suivantes :

Nombre de tours	180
Diamètre du petit cylindre	400 m/m
— grand cylindre	600 »
Course	450 »

Machine de 60 chevaux :

Diamètre du petit cylindre	200 m/m
— grand cylindre	300 »
Course	250 »
Nombre de tours	360

Le fonctionnement de ces machines est irréprochable et se fait sans aucun choc ni aucun bruit de vibration.

Machine à triple expansion de la Maison Weyher et Richemond

Ces machines ont été étudiées en vue de développer une grande puissance sous un très petit volume ; elles fonctionnent sans bruit ni trépidations ; le régulateur est extrêmement sensible ; une disposition spéciale permet d'obtenir toutes les variations de vitesse que l'on désire. Le système à triple expansion, les distributeurs équilibrés, les condenseurs à pulvérisation d'eau, les pompes à air à

fourreaux et à clapets étagés réduisent au minimum la dépense d'eau et de charbon.

Ces moteurs sont combinés pour commander directement les dynamos à l'aide d'une seule courroie et sans transmission intermédiaire, et c'est une des machines qui se sont le plus répandues dans ces installations : Hippodrome, Châtelet, Station Edison, Opéra, Palais-Royal, etc.

Le bâti porte à sa partie supérieure les cylindres superposés et formant un ensemble parfaitement rigide et indéformable. La partie inférieure reçoit l'arbre moteur à manivelles équilibrées placées sous un angle de 90 degrés.

Le devant de la machine étant entièrement libre, tous les organes sont facilement accessibles.

Les cylindres sont à enveloppe de vapeur et munis de soupapes permettant l'évacuation très rapide de l'eau accidentellement entraînée ou condensée.

La distribution se fait par quatre tiroirs équilibrés, d'une étanchéité parfaite, et disposés pour réduire les espaces nuisibles à leur minimum, tout en donnant de larges passages à la vapeur.

Le régulateur se compose d'une boîte circulaire fermée, dans laquelle se meuvent, sous l'action de la force centrifuge, des masses rappelées vers le centre par des ressorts puissants. Une disposition spéciale permet de régler l'action de ces masses de façon à obtenir toutes les variations de vitesse que l'on désire.

Le compensateur Denis assure l'indépendance des positions relatives du régulateur et de l'admission. Le condenseur, distinct de la machine, est actionné par un moteur spécial attaché sur le flanc de la pompe à air. Il est formé par une vaste cloche cylindrique à la base de laquelle se trouve une coupe de bronze ; au centre de cette coupe, un orifice circulaire laisse échapper une lame d'eau très mince qui vient se pulvériser sur les parois inclinées de la coupe. La cloche se remplit d'un brouillard qui condense instantanément la vapeur. L'eau nécessaire à la condensation est ainsi réduite à environ 180 litres par cheval et par heure.

La pompe à air est à deux cylindres, à fourreau en bronze, à clapets étagés. Le graissage des pièces est bien assuré par des dispositions à genouillère spéciale.

Nous décrirons ici le compensateur Denis, qui est appliqué par la Maison Weyher et Richemond à toutes les machines qu'elle construit. L'appareil Denis, dit compensateur, adapté à un régulateur ordinaire à force centrifuge, supprime d'une manière absolue l'intervention de la main du mécanicien pour conserver au moteur à vapeur une vitesse rigoureusement constante dans toutes les conditions de résistance et de puissance.

La plupart des régulateurs ont l'inconvénient d'être reliés d'une manière invariable avec l'organe, détente ou papillon qui modifie l'arrivée de la vapeur. Il en résulte que chaque variation dans la quantité de vapeur introduite est la

conséquence de la variation de position du régulateur, ce qui amène nécessairement une variation de vitesse dans la machine.

On a esssayé de remédier à cet inconvénient capital par un grand nombre de dispositions souvent ingénieuses, mais, quoique l'on soit parvenu à réaliser de grandes améliorations, on doit, dans la pratique, régler de temps en temps les régulateurs.

Au contraire, le mécanisme compensateur Denis, ajouté à un régulateur ordinaire à force centrifuge, tout en laissant à ce dernier son principal mérite, l'action instantanée, lui permet de revenir de suite à sa position normale, en laissant le papillon ou la détente dans la situation où il les avait amenés pour parer à la variation de résistance ou de puissance. On comprend que cet effet se produisant en toutes circonstances, la vitesse du moteur ne peut aucunement varier. Le mécanisme compensateur est entièrement indépendant du régulateur lui-même, auquel il laisse toute sa liberté et son instantanéité d'action ; cette circonstance permet de l'appliquer toujours facilement à une machine existante, déjà pourvue d'un régulateur ordinaire.

La planche 89-90 donne le détail du régulateur et son application à des machines locomobiles et mi-fixes et à des machines à détente variable par régulateur.

1° Le levier *a* du régulateur centrifuge *b* actionne le levier *c* du papillon par l'intermédiaire de la tringle *d*, dont la partie supérieure filetée traverse un écrou en bronze coulissant dans la chape qui termine le levier du papillon.

Le point de suspension du haut de la tringle lui permet de tourner librement sur elle-même ; sa partie inférieure se termine par un toc *c* à quatre ailettes, glissant dans les douilles alésées des deux roues d'angle *f*, *g*. Chacune de ces douilles porte une clavette intérieure en saillie, les deux clavettes laissant entre elles un espace libre égal à l'épaisseur des ailettes du toc.

Les deux roues *f*, *g*, reçoivent leur mouvement de rotation en sens inverse l'une de l'autre du pignon *h* calé sur l'arbre horizontal *i*, lequel est actionné lui-même par la vis sans fin terminant l'extrémité de l'arbre *m* qui donne le mouvement au régulateur.

Sur le dessin, le régulateur est figuré dans sa position moyenne correspondant à la vitesse normale de la machine ; on voit que, dans ce cas, le toc placé juste entre les deux clavettes n'est entraîné ni par l'un ni par l'autre.

S'il se produit une variation dans les résistances opposées à la machine, le régulateur va immédiatement changer de position et le toc viendraen prise avec l'une ou l'autre des clavettes qui l'entraînera dans le sens de son mouvement de rotation.

Il en résulte que la tringle filetée montera ou descendra suivant les cas, dans l'écrou en bronze du levier du papillon et permettra ainsi au régulateur de reve-

nir de suite à sa position normale sans modifier le degré d'ouverture auquel il avait amené le papillon.

Le régulateur étant revenu à sa position moyenne, il est évident que la vitesse de la machine est exactement la même qu'auparavant.

2° Le levier *a* du régulateur *b* actionne la came de détente *c* par l'intermédiaire de la tringle *d* dont la partie inférieure filetée fait office de crémaillère sur la roue dentée *e* calée sur l'arbre de la came.

Le point de suspension de la tringle lui permet de tourner librement sur elle-même, et, ainsi que dans le cas précédent, un système de roues d'angle *f*, *g*, commandées par un pignon *h* est disposé pour faire tourner la tringle dans un sens ou dans l'autre dès que le régulateur s'écarte de sa position moyenne correspondant à la vitesse normale de la machine.

Si donc une variation se produit dans la résistance, le régulateur va immédiatement changer de position et la partie filetée de la tringle agissant comme crémaillère sur la roue *c*, mettra instantanément la came de détente dans la position voulue ; au même moment, la tringle tourne entraînée par l'une ou l'autre des roues *f*, *g*, sa partie filetée monte ou descend, suivant les cas, sur les dents de la roue *e* formant écrou, permettant ainsi au régulateur de revenir à sa position normale sans modifier celle qu'il vient de donner à la came pour parer à la variation de résistance; et, par suite, il est évident que la vitesse de la machine est exactement la même qu'auparavant.

Les machines proposées pour actionner directement par courroie les dynamos, sont du type vertical à triple expansion et à condensation.

La vapeur à la pression de 10 kilogrammes, agit dans un premier cylindre — dit petit cylindre — pendant la moitié de la course du piston, puis se rend, après avoir doublé de volume, dans un deuxième cylindre — dit moyen cylindre — où elle continue à se détendre, et enfin dans deux autres cylindres à basse pression où s'achève l'expansion.

Le petit et le moyen cylindre sont disposés en tandem sur les grands. Le rapport du volume introduit au volume échappé est de 1/12°.

Les tiroirs de distributions des deux premiers cylindres sont cylindriques, munis de segments et complètement équilibrés. Des fourreaux en fonte dure, rapportés dans les cylindres et percés d'orifices à chaque extrémité pour le passage de la vapeur, font l'office de tables de distribution des tiroirs.

Les tiroirs des grands cylindres sont plans et à doubles orifices pour en réduire la course. Ces tiroirs et les précédents sont mûs par des excentriques circulaires au nombre de deux, calés sur l'arbre des manivelles, et par l'intermédiaire de mouvement de balancier, de manière à compenser les poids sur les extrémités des dits balanciers.

Les boîtes à étoupes des tiges de piston et des tiges de tiroirs ordinairement employées, sont ici remplacées par des boîtes à garniture métallique.

L'arbre moteur est composé de deux vilebrequins à plateau, réunis par des boulons. L'angle formé par les manivelles est de 90°.

Les pistons communiquent leur mouvement aux manivelles de l'arbre moteur par l'intermédiaire de tiges reliées par des écrous aux coulisseaux des glissières, et de bielles à fourche. Les coulisseaux sont en bronze et leur axe d'articulation en fer cémenté et trempé. Les tiges de piston sont en acier fondu. Les bielles motrices ainsi que leurs chapeaux et boulons et les arbres moteurs sont en acier.

Les articulations sont toutes garnies de coussinets en bronze dur ou de bagues en fer cémenté et trempé présentant de grandes surfaces de frottement.

Les cylindres à vapeur sont à enveloppe avec circulation de vapeur. Ils sont recouverts d'une couche de matière isolante maintenue par une enveloppe en tôle.

Des soupapes à ressort sont disposées à chaque fond et couvercle de cylindre pour éviter les accidents produits par l'eau entraînée dans les conduites.

Les diverses parties de la machine sont supportées par un bâti en fonte et des colonnes en fer laissant un accès très facile des organes pour le démontage et le graissage.

La lubrification des cylindres et tiroirs se fait au moyen d'un oléomètre — à goutte visible — placé sur l'arrivée de vapeur.

Le graissage des diverses parties frottantes se fait au moyen de godets, munis de couvercles à vis pouvant se serrer à la main pendant le fonctionnement de la machine. Ces godets contiennent de la graisse pour une marche de douze heures.

L'arbre moteur porte à chaque extrémité une poulie volant qui reçoit la courroie de commande de la dynamo.

Un de ces volants contient le régulateur de vitesse. Ce régulateur est composé de deux masses en fonte réunies par des ressorts spirales en acier, dont l'écartement plus ou moins grand sous l'influence de la force centrifuge, produit le mouvement d'une tige verticale qui actionne la valve placée dans le canal d'arrivée de vapeur.

Le régulateur, vu le poids des masses, est d'une grande sensibilité et énergie. Il est constamment ramené à sa position moyenne correspondante à la marche normale de la machine par l'effet d'un compensateur — système Denis — qui est placé sur le trajet de la tige verticale qui commande la valve.

Ce compensateur reçoit son mouvement de la machine elle-même.

L'écart dans le nombre de tours n'est pas de plus de 1|200e de celui qui correspond à la vitesse de régime.

Un robinet à soupape pour la prise de vapeur et un robinet à valve pour l'échappement, permettent de marcher avec un moteur quelconque ou de l'isoler des autres machines en service.

Deux escaliers et une passerelle en fer formant galerie donnent accès à la partie supérieure des moteurs.

Cette machine fonctionne d'une manière absolument parfaite et est d'une construction très soignée.

C'est un des meilleurs types à recommander pour les installations d'électricité.

MACHINES COMPACTES

Machines Westinghouse

(Planche 91)

Les cylindres AA et la chambre des tiroirs B sont fondus d'une seule pièce et boulonnés sur le logement ou boîte à manivelle C. Les couvercles de cylindre *a,a*, ferment les extrémités supérieures des cylindres seulement; les parties inférieures sont découvertes et ouvrent directement dans la chambre de la boîte à manivelles.

Les pistons D,D, sont en forme de manchon à double fond dans le haut, pour empêcher la condensation ; ils sont ouverts dans le bas et munis de goujons en acier cémenté, *b,b*. Ils sont garnis de quatre segments.

Les bielles motrices, F,F, sont creuses avec nervures, et ne peuvent subir que de la compression ; les manivelles, G,G, en équilibre par des contrepoids *x,x*, le goujon de la manivelle, P, et l'arbre de la manivelle, HH, sont en acier et peuvent être changés en enlevant le couvercle de la boîte à manivelles, C. L'acier des manivelles est fondu sous pression, il est pur, et l'excellence de sa qualité est démontrée par le fait qu'il peut, étant trempé, servir comme outil sur un tour.

Les coussinets de l'arbre de la manivelle ont la disposition de fourreaux mobiles, *d,d*, garnis de métal blanc antifriction qui est forcé en place sous une pression hydraulique de 23 kil. 650 par millimètre carré.

Une chambre est ménagée dans la bride du fourreau, *d*, entourée par le couvercle *d'*. Dans cette chambre, et tournant avec l'arbre, se trouve l'essuyeur W, qui recueille l'huile quand elle passe sur les coussinets et la renvoie par le tuyau,

e, dans la boîte à manivelles C. Cette disposition rend inutile toute autre lubrification et maintient la machine en parfait état de propreté.

Un siphon de trop-plein, avec chapeau à entonnoir, *n*, empêche toute accumulation d'eau au-dessus du niveau de la conduite, *e*, et en même temps prévient la fuite de l'huile. Ce trop-plein peut être à volonté branché à l'ouverture, O, dans le chapeau-entonnoir. Les colliers, *t,t*, en bronze, forment les coussinets de l'extrémité des manivelles. Des colliers de plomb, *v*, empêchent les manchons coniques d'être trop relevés, ce qui ferait gripper. Un coussinet central K, relie les deux côtés de la boîte à manivelles, et reçoit la poussée des pistons.

Le couvercle, *h*, s'enlève pour permettre l'accès des manivelles.

Le tiroir V est du genre piston, d'une construction perfectionnée, il se compose d'une entretoise, *i,i*, des têtes, *j,j*, en fonte malléable, et des segments, *k,k*, le tout assemblé par la tige et l'écrou, *l*.

Le guide du tiroir, J, remplace un presse-étoupes prévenant l'échappement de la vapeur contenue dans les passages au-dessus. Le guide du tiroir, ainsi que le tiroir et les deux pistons, sont garnis avec des segments simples en fonte.

La tige du tiroir, *m*, est clavetée sur le guide, et tient le tiroir sans serrer entre l'écrou de l'extrémité supérieure et le collier de l'extrémité inférieure, ainsi qu'il est indiqué.

La boîte à manivelles est alimentée d'eau par le tuyau, R, R, et le niveau en est indiqué dans le chapeau-entonnoir du trop-plein précité. L'eau ne peut pas s'élever trop haut, mais on devra avoir soin qu'elle ne s'abaisse jamais jusqu'à disparaître dans l'entonnoir.

Comme quelques-unes de ces machines ont une tendance à laisser échapper lentement l'eau de la boîte à manivelles, l'on a ajouté une conduite de vidange et une soupape, *u*, qui est laissée entr'ouverte, pour drainer les ouvertures d'échappement dans la boîte à manivelles, et maintenir ainsi l'approvisionnement.

Cette soupape ne devra pas être assez ouverte pour permettre à l'échappement de vapeur de passer au travers.

L'huile destinée à la lubrification de toutes les parties internes peut aussi être introduite par la conduite, R, mais il est préférable de maintenir une alimentation constante par les graisseurs, *f,f*, sur les coussinets principaux, assurant ainsi tout d'abord leur graissage, et l'huile est ensuite renvoyée dans la chambre, par les essuyeurs, au profit du bouton de la manivelle et de tous les autres coussinets. Il n'est pas besoin d'autre graissage que celui obtenu par ces graisseurs. Le devant de l'enveloppe cache le réservoir à l'huile, O, qui remplit tout l'espace entre les cylindres et alimente les graisseurs, *f,f*, par les tuyaux cachés et les robinets *l,l*. Une fois le réservoir rempli jusqu'à *q*, il durera longtemps, et toute la lubrification de la machine (excepté les tiroirs et les cylindres qui sont, comme à l'ordinaire, graissés par la prise de vapeur) est ainsi introduite par un seul endroit. Les robinets *l,l* devront rester ouverts pour assurer un écoulement

constant, mais lent, de l'huile dans le graisseur. M et N, sont respectivement les points d'échappement et de prise de vapeur.

Le volant type est une combinaison de la poulie, Z, et du volant, Y, fondu ensemble, de façon que la poulie soit en saillie au-dessus des coussinets principaux, rejetant l'effort de la courroie vers le centre du coussinet, et évitant la vibration de l'arbre.

Le régulateur automatique est analogue à ceux que nous avons décrits précédemment.

Chaque cylindre est à simple effet.

L'admission de vapeur annulaire, *p*, communique avec le haut d'un cylindre et *p'* avec le haut de l'autre. La vapeur entrant en M et entourant le tiroir dans la chambre, *s*,*s*, est admise alternativement dans le haut de chaque cylindre, attendu que les bords internes du tiroir découvrent les orifices, *p*, *p'*, et la compression est réglée par les bords externes du tiroir selon le mode usuel. L'échappement dans le haut de la chambre du tiroir passe dans le tuyau d'échappement à travers la tige creuse du tiroir. Dans la coupe, la vapeur entre par l'orifice, *p*, et s'échappe en *p'*.

S'il est convenablement réglé, le régulateur ne fonctionnera pas avant que la machine ne marche à un pour cent de sa vitesse nominale et il aura accompli sa course entière avant que la machine n'ait marché à un pour cent trop vite. Cela donne un écart total de deux pour cent.

Le régulateur agit non seulement sur la vapeur vive, mais aussi bien sur celle de l'échappement. Les lignes pleines montrent l'action sur la vapeur, et les lignes pointillées l'action sur l'échappement. Lorsque la détente est augmentée, la compression augmente, cette résistance n'est pas une perte, attendu que, comme un ressort, elle redonne la majeure partie de la force à la course suivante et maintient la chaleur des surfaces intérieures.

Ces machines consomment environ 15 kilogrammes par cheval et par heure d'après les constructeurs.

Ces machines à grande vitesse, d'une puissance de 100 chevaux effectifs, occupent un espace très restreint et sont fort bien étudiées au point de vue de la résistance des pièces aux grandes vitesses. Elles exigent une exécution parfaite car, malgré la facilité de la visite, dès qu'il y aurait les moindres jeux produits, on aurait des avaries et des arrêts en marche, ce qui est fort préjudiciable pour les stations d'électricité en particulier.

Ce type de machine est assez répandu en Angleterre.

Machines à vapeur à distribution centrale (système Ch. Brown), construites par Weidknecht

(Planches 92-93)

Le principe consiste particulièrement dans le système de distribution centrale pour machine compound à simple ou à double effet.

Dans cette série de machines, le cylindre à haute pression occupe une position centrale et son piston agit sur une manivelle centrale ; le cylindre à basse pression, de forme annulaire, embrasse le cylindre à haute pression et son piston commande deux manivelles placées de chaque côté que celle du piston central. Par cette disposition les pistons marchant en sens inverse et les forces vives se compensant mutuellement, on assure à la machine une marche douce et une grande stabilité malgré la vitesse. Les pistons marchant simultanément, mais en sens inverse, il s'en suit que la distribution peut se faire par un seul appareil distributeur, les périodes d'admission et d'échappement étant identiques, sauf de légères différences nécessitées par la différence de la densité de la vapeur dans les cylindres, qui exige des valeurs différentes de compression pour amortir les forces vives des pistons et organes de transmission pour assurer une marche douce.

Le régulateur est dans un volant et agit simplement sur un appareil étrangleur ; l'avantage d'un appareil à détente variable pour la régulation de ces machines compound ne vaut guère, d'après M. Brown, la complication et la dépense qu'elle entraîne. Les volants, au nombre de deux, sont du même poids pour charger également les coussinets, et d'un grand diamètre pour réduire leur poids.

Le principe de ces machines a été étudié dans le but d'obtenir des sections plus grandes des lumières pour l'admission et la sortie de la vapeur des machines compound et aussi de raccourcir le chemin de la vapeur d'un cylindre à l'autre pour éviter les chutes de pression entre les deux cylindres, réduire les pertes par le frottement de la vapeur et diminuer les espaces nuisibles ; les orifices placés sur tout le pourtour du cylindre présentent encore l'avantage que la vapeur se répand simultanément sur toute la surface du piston. De plus, en plaçant le petit cylindre dans le grand, les pertes par radiation nuisible sont réduites au minimum, et par la position du passage dans l'intérieur de la machine, la vapeur perd moins de chaleur et par suite perd moins de pression et moins de force.

Les dessins de la planche 92-93 représentent le principe appliqué à divers types de machines à vapeur compound. Les mêmes lettres indiquent les mêmes organes des diverses machines figurées sur la planche.

Machine à double effet. — Les figures 1, 2, 3 représentent une machine compound à double effet. A, le petit cylindre ; A', le petit piston ; B, le grand

cylindre ; B', le grand piston, de forme annulaire ; CC, espace ménagé entre les parois du petit et du grand cylindre et qui forme le récipient intermédiaire pour la vapeur ayant travaillé dans le petit cylindre avant qu'elle se rende dans le grand par la distribution centrale ; DD tiroirs-pistons formés par deux tiroirs annulaires, un pour chaque extrémité des cylindres, dont le corps supérieur est relié au corps inférieur par les entretoises creuses ; *d, d, d,* les dites entretoises servant en même temps au passage de la vapeur et de la boîte E à la boîte E'. F et F' chambres pour recevoir la vapeur d'échappement, reliées par les passages *g, g,* au tuyau d'échappement G ; I, arbre coudé à trois manivelles : *i,* pour recevoir l'impulsion du petit piston moyennant : bielle, glissières, crosse et tige de piston comme d'habitude ; *i', i',* pour recevoir l'impulsion du grand cylindre moyennant deux bielles et leurs accessoires. Cette machine étant à double effet et par suite les efforts sur les articulations des organes de transmission se produisant dans les deux sens deux fois par chaque révolution, il est indispensable que les organes soient bien en vue pour retirer le jeu qui se produit.

L'écart des manivelles *i* et *i', i'* est de 180° ; *i'', i''* sont deux excentriques qui commandent les tiroirs-pistons D D, moyennant les organes usuels, *a, a,* lumières circonférencielles du petit cylindre ; *b, b',* du grand ; *f, f',* des chambres F F; 1, 1, 2, 2 et 3, 3, garnitures à bagues élastiques des tiroirs D D.

Les bagues 1, 1, règlent l'admission de la vapeur dans le petit cylindre et l'échappement dans le récipient intermédiaire C ; les bagues 2, 2, règlent l'admission de la vapeur du récipient *c,* dans le grand cylindre ainsi que l'échappement ; les bagues 3, 3, servent à empêcher le passage de la vapeur vive des boîtes E E, à l'échappement *f, f.*

Dans les positions du petit et du grand piston indiquées sur les figures 1 et 2, la vapeur est admise sous le petit piston par la lumière *a,* et elle échappe au-dessus par la lumière *a,* dans le récipient *c* ; et de là elle est admise au-dessus du grand piston par la lumière *b.* L'échappement du dessous du grand piston a lieu par les lumières *b'* en *f',* passant par la gorge ménagée sur le corps du tiroir entre les bagues 2 et 3 et ainsi de suite.

Figures 4 et 5 : cylindres de machines à double effet où la paroi qui sépare le petit du grand cylindre annulaire, se fait par deux corps cylindriques dont le tiroir-piston est composé, les flèches indiquent le jeu de la vapeur.

Les dimensions d'une machine à double effet sont les suivantes (fig. 1, 2, 3) :

Petit piston : diamètre 320	section	0^{m^2},0804
Grand » » 660-840	»	0 ,2120
Course des pistons.		0^m,300
Rapport de détente.		0,18
Nombre de tours.		250
Pression de la vapeur.		6 kil.
Force en chevaux		100
Encombrement de la machine		2^m,000 sur 1^m,250

Machine à simple effet. —Ces machines sont du type dit *Box engine Type*, où les organes de transmission sont enfermés dans une caisse ou boîte qui contient la matière lubrifiante dans laquelle plongent les manivelles qui, par leur rotation, produisent un fort remous assurant la lubrification très abondante de tous les organes en mouvement ; un purgeur automatique débarrasse continuellement ce bain lubrifieur de l'eau de condensation qui pourrait passer par les pistons.

Ce type de machine est destiné à marcher à grande vitesse et pendant des périodes prolongées sans arrêt et où l'application des moyens ordinaires de lubrification est impossible.

Cet avantage de pouvoir marcher pendant des périodes prolongées sans arrêt résulte encore du mode de fonctionnement des machines à simple effet, car tous les organes de transmission recevant la force toujours dans le même sens, et pendant les intervalles où ils n'agissent pas, les pistons travaillent à la compression, il s'en suit que les articulations sont toujours en contact dans le même sens, de sorte que l'allure de la machine reste douce malgré le jeu produit par l'usure des organes. A la rigueur, la moitié des coussinets, du côté où ils ne reçoivent pas d'effort, pourrait être supprimée ou réduite de largeur, ce qui diminue le frottement et assure un effet utile un peu plus grand.

On voit par ce qui précède que ces machines peuvent marcher longtemps sans qu'on soit obligé de réajuster les coussinets.

Les figures 6, 7 et 8 représentent une machine compound à simple effet et sans condensation.

Le tiroir-piston de cette machine, placé dans le prolongement du petit cylindre est divisé en deux parties, à savoir : la partie supérieure D avec garniture élastique 1, 1, réglant l'admission de la vapeur au petit cylindre par la lumière *a* ; de là, la vapeur se rend par les passages *d*, *d*, ménagés dans le corps de la partie inférieure du tiroir-piston D' au petit cylindre ; D' est muni de trois garnitures élastiques 2, 2, 3, 3 et 4, 4 ; 2, 2 règle l'échappement du petit cylindre dans le récipient C ; 3, 3 règle l'admission au grand cylindre et aussi l'échappement par les lumières *b* et *f*. La vapeur du petit cylindre arrive par les trous *d*, *d*, *d* ; le jeu de la vapeur est indiqué par les flèches.

Le mouvement des pistons est transmis à l'arbre coudé I et aux manivelles *i* et *i'*, *i'*, par des bielles qui sont articulées directement aux pistons A et B. Le tiroir de distribution est commandé par les excentriques *i''* et *i''* et leurs bielles et les organes de transmission qui se composent du cadre M des tiges *m*, *m*, qui sont reliées à la crosse N et à la tige *n* du tiroir.

Les figures 9 et 10 représentent une machine compound à simple effet et à condensation ; figure 9 : section verticale de la machine, et figure 10 : coupe horizontale montrant les organes de distribution et leur jeu.

Dans cette machine, la distribution est du type dit de Kackwarth ou distri-

mission et *a'* pour la sortie de la vapeur ; de cette dernière la vapeur se rend dans le grand par la lumière *b*. Le jeu de la vapeur est indiqué par les flèches. Le grand cylindre est muni d'une enveloppe de vapeur. Les cylindres, n'étant pas ouverts, les pistons sont munis de tiges et le mouvement est transmis à l'arbre par l'intermédiaire de crosses guidées et de bielles. Une machine à simple effet, figurant à l'Exposition, a les dimensions suivantes :

Petit piston : diamètre 250 $^m/_m$, section	0^{m2},0490
Grand » » 410 × 600 $^m/_m$	0 ,1587
Nombre de tours	400
Pression de la vapeur.	6 kil.
Course des pistons	0^m,250
Rapport de détente.	0,22
Force en chevaux	50
Encombrement de la machine	2 mètres sur 1 mètre.

Cette machine, d'un type nouveau, est fort ingénieuse. Elle est à la hauteur des créations précédentes de M. Brown, et il est probable que ses résultats pratiques seront satisfaisants.

Machine rotative Bonjour

(Planche 94)

Cette machine, dont nous donnons le dessin planche 94, peut tourner à 1800 tours à la minute. On voit que le mouvement de rotation de l'arbre est donné par la résultante des mouvements à angle droit des deux pistons qui fonctionnent en compound.

Ce dessin représente une machine à détente variable à la main ; cette machine se construit aussi à détente fixe.

Cette machine spéciale peut trouver son application dans certains cas particuliers d'éclairage électrique, de ventilation, etc.

Machine de Montrichard

(Planche 94)

Nous pouvons encore signaler comme machine compacte la machine de Montrichard à mouvement elliptique avec piston distributeur.

Le piston, guidé par des contacts, a une forme telle qu'il est animé d'un mouvement de va et vient en même temps que d'un mouvement de rotation.

Il est à craindre que ce système donne lieu à beaucoup d'usure et que les fuites de vapeur produites n'augmentent la consommation de vapeur dans d'assez grandes proportions.

la valve d'admission V. Le régulateur règle l'admission de la vapeur proportionnellement à l'intensité du champ magnétique, sans avoir par lui même aucun effort à développer pour conduire la valve ; aussi le résultat obtenu est-il parfait et il est possible de faire varier la charge de la machine graduellement de 0 à son maximum de puissance, sans atteindre une variation de plus de 1 % dans la différence de potentiel.

Note A

EXTRAIT DU COMPTE RENDU DES SÉANCES DU TREIZIÈME CONGRÈS DES INGÉNIEURS EN CHEF DES ASSOCIATIONS DE PROPRIÉTAIRES D'APPAREILS A VAPEUR.

. . . . . .

Rapport de MM. Coste et Bour.

1° La machine compound est nécessairement peu élastique et son fonctionnement normal, pour les conditions de marche prévues par le constructeur peut devenir très défectueux dès que l'on s'écarte de ces conditions.

2° La machine compound se prête moins bien à une marche régulière que la machine à un seul cylindre, lorsqu'elle est appliquée à un travail variable.

3° La machine compound ne se prête pas facilement à la marche double, en ce sens que les conditions d'établissement d'une machine à condensation diffèrent de celles d'une machine à échappement libre. Ainsi, quand on s'écarte pour une même machine d'une certaine puissance moyenne, on est exposé à trouver pour l'une des deux marches, un fonctionnement très défectueux.

4° Les machines compound sans condensation présentent à un degré exagéré tous les inconvénients que nous trouvons aux machines compound à condensation.

5° La machine compound ne nous semble pas pouvoir être considérée comme un moteur industriel susceptible d'être établi suivant des types fixes, capables de répondre aux exigences générales des ateliers. Bonne pour certains cas, elle peut, dans d'autres, donner lieu à de graves mécomptes, si elle n'a pas été établie en prenant des précautions spéciales.

Il y a même des cas où elle ne devrait jamais être adoptée. La machine à un seul cylindre permet au contraire de constituer des types d'un emploi plus général.

La détente multiple a certainement amené des améliorations considérables dans les machines marines pour lesquelles elle est admise aujourd'hui sans conteste.

Note B

EXTRAIT DU RAPPORT DE M. WALTHER-MEUNIER, INGÉNIEUR EN CHEF DE L'ASSOCIATION ALSACIENNE DE PROPRIÉTAIRES D'APPAREILS A VAPEUR, SUR LES TRAVAUX EXÉCUTÉS SOUS SA DIRECTION DU 1er JANVIER AU 31 DÉCEMBRE 1888.

La faveur dont jouissent les machines compound nous a amené à établir la moyenne de consommations de ce genre de moteurs expérimentés par nous dans les dernières années, et celles de machines à un cylindre fournissant, autant que possible, la même puissance indiquée. Les résultats de cinq séries d'expériences sur chaque type sont consignés dans le tableau page 135, les consommations étant données en kilogrammes de vapeur par heure et force de cheval indiquée.

Si nous prenons la moyenne des consommations dans les deux cas, nous arrivons, en faveur de la machine compound, à une différence de :

$$7.843 - 7.2056 = 0.6374,$$

soit 8,126 %.

D'autre part, la moyenne de quatre essais au frein exécutés sur des machines compound, nous donne un rendement de 0,8815, et la moyenne de deux essais au frein de machines à un cylindre, 0,9115.

Différence en faveur de la machine à un cylindre, 0,03, soit 3 %.

D'où différence en faveur de la machine compound en tenant compte de la puissance effective utile sur l'arbre volant, 5,126 %.

Si parmi les machines à un cylindre de construction récente, nous prenons d'une part la Corliss Creusot consommant 7 kil. 690, et d'autre part la Wheelock tandem consommant 7 kil. 233, la différence de consommation n'est plus que de 0 kil. 457 ou 5,942 %.

Nous obtenons un chiffre se rapprochant beaucoup de ce dernier en comparant la Corliss Berger consommant. 7,605
à la machine à quatre tiroirs plans consommant 7,188
la différence est de. . . . . 0^k,417 ou 5,483 %

En tenant compte des différences de rendement, l'avantage de la machine compound se réduirait, dans ces deux derniers cas, à 5,7125 — 3 = 2,7125 %.

En présence de ces considérations nous croyons qu'il y a lieu, dans chaque cas particulier, d'examiner attentivement à quel genre de moteur il faut donner la préférence ; cet examen devra constater d'abord si l'intérêt et l'amortissement

de la plus-value du moteur compound sont inférieurs à la dépense annuelle de combustible plus forte de la machine à un cylindre. En second lieu les frais d'entretien et de graissage sont plus élevés pour la machine compound que pour un moteur à un cylindre de la même puissance.

La réputation faite aux machines compound s'explique principalement par les résultats avantageux obtenus dans la marine, où ce type a eu les premières applications. Pour les moteurs industriels, en dehors des considérations pécuniaires énoncées ci-dessus, nous devons tenir compte encore des conditions de fonctionnement. Une machine à un cylindre peut être plus facilement confiée à un soigneur médiocre qu'un moteur compound. Celui-ci étant même disposé pour recevoir de la vapeur directe dans les deux cylindres ne fonctionnera pas dans des conditions avantageuses si, pour une cause quelconque, le petit cylindre vient à manquer. Il faut alors introduire la vapeur dans le grand cylindre fonctionnant seul, à une pression assez basse pour que les organes ne soient pas compromis, ce qui entraîne une marche peu économique. Si au contraire nous avons une machine jumelle dont l'un des cylindres est arrêté, le second fonctionnera dans des conditions tout aussi avantageuses qu'en marche ordinaire. Cette considération est aussi à faire valoir surtout lorsque le moteur constitue une machine de secours à laquelle on demande un travail variant du simple au double, par exemple. Il est alors tout indiqué de ne marcher qu'avec un seul cylindre.

Pour de très grandes puissances, la machine compound se recommande tant au point de vue économique que sous le rapport du fonctionnement, quand celui-ci est constant. Par contre, quand le moteur n'a pas à fournir au-delà de 200 à 250 chevaux, nous pensons qu'avec la perfection de la construction moderne la machine à un cylindre est préférable à cause de sa simplicité.

Dans ce qui précède nous ne considérons pas les moteurs à grande vitesse et de petites dimensions qui constituent une catégorie spéciale, et nos appréciations se bornent aux machines usitées comme moteurs industriels pour lesquels doivent entrer en ligne de compte le prix d'installation, les besoins de fabrication et l'absence de complications qui constituent toujours un facteur désavantageux.

En résumé, dans l'état actuel de la question, nous devons nous borner à soumettre aux intéressés les observations précédentes, en attendant qu'un plus grand nombre d'expériences vienne les confirmer ou les modifier. Nous tenons seulement à mettre l'acquéreur d'un moteur à vapeur en garde contre un entraînement qui, dans certains cas, est absolument justifié; mais qui, dans d'autres, pourrait causer des surprises désagréables.

Tableau comparatif des consommations de machines compound et de moteurs à un cylindre.

MACHINES COMPOUND				MACHINES A UN CYLINDRE			
SYSTÈME	PUISSANCE INDIQUÉE	CONSOMMATION	OBSERVATIONS	SYSTÈME	PUISSANCE INDIQUÉE	CONSOMMATION	OBSERVATIONS
4 tiroirs	66 chev.	7k,346	Manivelles à 90°	Corliss Creusot.	152 chev.	7k,690	
Wheelock. . . .	128 »	7 ,233	Tandem simple.	» »	156 »	7 ,730	
4 tiroirs plats. .	254 »	7 ,188	Manivelles 90° .	» Berger .	215 »	7 ,605	
Wheelock. . . .	308 »	7 ,130	2 tandems jumel.	» ancienne	305 »	8, 170	2 jumelles
Corliss Berger .	310 »	7 ,229	Manivelles à 90°	» »	260 »	8 ,020	»
Sommes	1066 chev.	31 ,128			1088 chev.	39 ,215	
Moyennes. . . .	2135 »	7 ,2056			517 »	7,843	

MACHINES MARINES

Les machines qui se construisaient en 1878 pour les marines militaires ou marchandes de toutes les nations étaient, presque sans exception, du type Woolf ou compound, fonctionnant à double détente, à une pression de régime de 4 à 5 kilogrammes par centimètre carré, qui était la *haute pression* de cette époque.

Nous rappellerons que la double détente s'était répandue à partir de l'année 1860 environ, alors que l'application heureuse de la condensation par surface avait permis d'alimenter les chaudières à l'eau douce, de supprimer l'usage des extractions et d'élever la pression au-dessus de 2 kilogrammes. De ce fait, la consommation de combustible par cheval et par heure avait été abaissée déjà de $1^k,50$ à 1 kilogramme, en nombres ronds. A partir de 1878, un progrès du même ordre a été réalisé, en sorte que la consommation par heure et par cheval ne dépasse guère $0^k,75$ environ dans les machines modernes. Ce nouveau pas en avant a pu être franchi, en poursuivant la même voie qui avait conduit aux progrès de la période antérieure, savoir : *l'augmentation de la pression de régime et l'allongement de la détente.* La plus grande extension de la détente entraîne comme conséquence l'augmentation du nombre des cylindres où cette détente doit se produire successivement, et, en quelque sorte, en cascade.

De même qu'au-dessus de 2 kilogrammes, l'avantage de la détente s'était clairement manifesté, celui de la *triple détente* devint incontestable pour des pressions de régime dépassant 6 à 7 kilogrammes. Ce dernier type de machines est presque le seul qui se construise aujourd'hui ; sa création a été le principal progrès réalisé depuis 1878, aussi l'examinerons nous avec quelques détails.

Une autre transformation importante qui s'est manifestée surtout dans les appareils des bâtiments de guerre, consiste dans l'allègement des machines et des chaudières, allègement obtenu par l'emploi du tirage forcé, par l'usage de grandes vitesses de piston et par un contrôle sévère des dimensions de tous les organes. Nous constaterons les progrès accomplis dans cette voie, progrès importants au point de vue de l'art de la construction navale de guerre, mais nous ferons ressortir aussi les difficultés que présente le problème de l'allègement des moteurs et les précautions que réclame sa solution. Le type de moteur allégé le spécimen de ce que nous pourrions appeler la *mécanique à outrance*, est

l'appareil des torpilleurs, où l'on trouve à la fois des machines d'allure très rapide et d'échantillons légers, des chaudières du type locomotive, où la combustion est poussée à outrance par une ventilation forcée.

Ce genre d'appareils, dont les premiers spécimens ont été construits en Angleterre, a été, en France, l'objet d'expériences fréquentes commencées en 1878.

Doit-on prévoir pour l'avenir une nouvelle marche en avant dans la voie suivie depuis vingt ans ? Le timbre des chaudières va-t-il s'élever à 15 ou 20 kilogrammes, et la machine à quadruple expansion doit-elle remplacer celle à triple expansion ? Nous le croirions volontiers, mais peut-être sera-t-on conduit, par l'augmentation croissante des pressions, à abandonner le type classique des chaudières cylindriques de grand diamètre, pour adopter des chaudières constituées par un faisceau d'éléments tubulaires de petites dimensions, dont il est facile d'assurer la résistance aux pressions les plus élevées. La Compagnie des Messageries maritimes a déjà obtenu des résultats satisfaisants dans cette voie où la marine militaire s'est, de son côté, engagée résolument. Ces tentatives sont le prélude d'une transformation nouvelle et, à ce titre, mériteront d'attirer l'attention.

Du reste, on peut dire qu'on est entré aujourd'hui dans la pratique des chaudières tubulaires à haute pression. La Maison Belleville expose au Champ de Mars le groupe des chaudières de l'*Alger*, que nous décrivons plus loin, et qui sont timbrées à 17 kilogrammes. Il y a actuellement près de 80 000 chevaux-vapeur commandés à la Maison Belleville sur ce dernier type et devant être appliqués, entre autres, au cuirassé *Brennus*.

On peut remarquer également, à l'Exposition, les chaudières multitubulaires adoptées par la Compagnie Fraissinet, ainsi que le foyer au pétrole pour torpilleurs, système d'Allest, qui permet d'augmenter dans de larges proportions la production d'une chaudière tubulaire donnée.

I. — Divers types de machines à vapeur en usage en 1878.

Le tableau n° 1, joint à cette note, fait connaître les dimensions de quelques appareils qui se trouvaient en cours d'exécution en 1878.

Celui de l'*Arménie* doit être considéré comme le type des machines compound, à pilon, des *cargo-boats* ou bâtiments de commerce proprement dits. Il se distingue par sa très grande simplicité : le petit nombre de ses organes et leurs larges proportions en rendent la conduite et la surveillance des plus faciles. La pompe à air et la pompe de circulation sont conduites par le piston moteur, par l'intermédiaire de balanciers.

TABLEAU I

Types de machines en construction en 1878

	Paquebot *Arménie.* (Comp. Paquet.)	Transports de la Marine *Tonquin-Shamrock, Bien-Hoa-Vinh-Long, Nive-Gironde*	Cuirassé d'Escadre *Amiral-Duperré.*		Croiseurs *Forfait, d'Estaing.*		Croisseur *Miaoulis* (Grèce		Avisos *Elan, Mouette.*	
de la machine	1 machine compound à 2 cylindres à pilon	1 machine compound à 3 cylindres à pilon	2 machines compound à 3 cylindres à pilon		1 machine compound horizontale à 3 cylind. avec bielles à retour		machine compound horizontale à 3 cyl. avec bielles à retour		1 machine compound à 2 cylindres à pilon	
ce prévue en ux indiqués..	1320 chev.	2640 chev.	Tirage naturel 6000	Tirage forcé 8000ch	Tirage naturel 2160	Tirage forcé indéterminé.	2100 chev.		350 chev.	
de régime..	$4^k,06$	$4^k,133$	$4^k,133$		$4^k,133$		$4^k,5$		$4^k,133$	
chaudières	cylindrique à 2 foyers à retour de flammes 4 corps	cylindrique à 2 foyers à retour de flammes 8 corps	cylindrique à 3 foyers à retour de flammes 12 corps		cylindrique à 2 foyers à retour de flammes. 6 corps.		cylindrique à 2 foyers à retour de flammes 6 corps		cylindrique à 2 foyers à retour de flammes 1 corps	
de grille....	$16^{m2},67$	$32^{m2},96$	$77^{m2},76$		$26^{m2},40$		$26^{m2},083$		$3^{m2},920$	
de chauffe...	$395^{m2},80$	$784^{m2},16$	$1742^m,88$		$621^{m2},00$		$665^{m2},4$		$100^{m2},00$	
es des petits.	$0^m,960$	$1^m,400$ 1 cylindre	$1^m,550$ 1 cylindre		$1^m,440$ 1 cylindre		$1^m,300$ 1 cylindre		0,580	
res grands	$1^m,770$	1 ,860 2 »	$2^m,000$ 2 »		$1^m,670$ 2 »		$1^m,000$ 2 »		1,000	
s surf. des pistons	3,4	3,53	3,3299		2,69		3,03		2,97	
les pistons..	$0^m,900$	$1^m,000$	$1^m,000$		0,800		$0^m,800$		$0^m,500$	
tours max. prévue	76	66	70	77	84	»	92		145	
des pistons..	$2^m,28$	$2^m,200$	$2^m,33$	$2^m,56$	$2^m,24$	»	$2^m,453$		$2^m,416$	
ient de détente	5,02	4,413	4,4	4,00	5,59	»	4,40	»	9,00	
l p. chev. et p. 1"	$4^{lit},25$	$4^{lit},53$	$4^{lit},9$	4,04	$4^{lit},54$	»	$4^{lit},69$	»	$5^{lit},421$	
et système des pes à air	1 verticale à simple effet, mue par balancier	2 verticales, à simple effet, mues directement par les patins des tiges de piston	1 verticale par machine, à simple effet, mue par balancier		2 horizontales, à plongeur, à double effet, mues directement par les tiges de piston.		1 horizontale à plongeur, à double effet, mue directement par une tige de piston		1 inclinée à simple effet, mue directement par crosse de piston	
et système des de circulation	1 verticale à double effet, mue par balancier	2 pompes centrifuges	2 pompes centrifuges par machine		2 pompes centrifuges.		1 horizontale à plongeur, à double effet, mue directement par une tige de piston		1 inclinée à simple effet, mue directement par crosse de piston	
condensation totale	$220^{m2},4$	532^{m2},	2×600^{m2}		450^{m2}		$336^{m2},56$		$64^{m2},03$	
p. cheval	$0^{m2},167$	$0^{m2},2015$	$0^{m2},20$	$0^{m2},15$	$0^{m2},208$	»	$0^{m2}.16$		$0^{m2},182$	
ce réalisée à de vitesse...	»	2820 chev. 5	»		3002 chev. 8		2446 chev.		420 chev.	
onsommation	1148 chev.	2715 » 6	6175 chev.		1995 chev. 8		»		380 »	
mat. p. chev. et : Essai de vitesse de consommat.	»	»	»		$1^k,214$		»		$0^k.948$	
	$1^k,027$	$0^k,980$	$0^k.980$		$1^k,080$		»		$0^k,882$	
. p. heure et p. arré de grille : e vitesse.....	»	»	»		$121^k,260$		»		$101^k,00$	
onsommation	$70^k,730$	$80^k,785$	»		$83^k,600$		»		$86^k,00$	
		p. cheval		p. cheval		p. cheval		p. cheval		p. cheval
Machines..	$146\,423^k$	$110^k.9$	$304\,525^k$	$115^k,3$	$832\,740^k$	$104^k,1$	$235\,250^k$	$78^k,4$	204600	$97^k.4$	$26\,278^k$	75^k0
Chaudières.	96523	73.1	188970	71.6	396160	49 ,5	140 750	46.9	147 130	70,0	18178	51.9
Eau.....	50000	37.9	91 000	34,5	169 000	21 ,1	71000	23,7	66000	31,4	8515	24,3
Total....		$221^k,9$		$221^k.4$		174,7		$149^k,0$		$198^k,8$		$151^k.2$

En service courant, c'est-à-dire lorsqu'on développe à peu près les deux tiers de la puissance maximum, soit 650 chevaux, la chauffe n'est pas poussée à plus de 50 à 55 kilogrammes par mètre carré de grille et par heure. Pendant la navigation ordinaire, le service de l'appareil tout entier est assuré, surveillance comprise, par cinq hommes, dont trois dans la chambre de chauffe et deux dans la machine. Les conditions d'extrême simplicité et de facilité de chauffe et de bonne conduite sont en effet de premier ordre pour les appareils de bâtiments de commerce. Nous retrouverons ce caractère dans les types à triple expansion, construits aujourd'hui pour ce genre de navires.

Les appareils des navires *Tonquin*, *Shamrock*, *Bienhoa*, *Vinhlong*, *Gironde*, destinés aux transports de l'Etat, faisant le service de paquebots de la Cochinchine, représentent un type plus puissant, perfectionné en certains points, mais par suite, un peu moins simple.

Pour obtenir une rotation plus uniforme et éviter l'emploi de trop grands cylindres, on a dédoublé le cylindre de détente, en sorte que ces appareils ont trois manivelles au lieu de deux.

La pompe de circulation, au lieu d'être conduite par l'appareil lui-même, est une turbine actionnée par un moteur spécial.

Les chaudières sont, comme dans le type précédent, proportionnées assez largement pour permettre, en service courant, une chauffe aisée.

La machine du *Miaoulis*, du même modèle que celle du croiseur français, *Le Seignelay*, est le type des appareils de croiseurs de cette époque ; c'est une machine horizontale placée tout entière au-dessous de la flottaison ; à vitesse de piston plus élevée ; déjà plus légère que les machines précédentes. Nous y trouvons encore, mais pour la dernière fois, dans les bâtiments de combat, une pompe de circulation conduite par les pistons moteurs.

L'établissement de cet organe entraîne, en effet, quelques difficultés dans les machines rapides, difficultés surmontées avec succès dans le *Miaoulis* et le *Seignelay*, mais dont il a paru prudent de s'affranchir par la suite. Le débit des pompes de circulation est, en effet, très considérable ; il s'élève à plus de 50 fois le poids de vapeur consommée, soit à près de 1000 tonnes par heure pour le *Miaoulis*, et comme la vitesse de piston est de $2^{m},45$ par seconde, on conçoit que le régime alternatif du mouvement de l'eau puisse présenter certaines irrégularités et même donner lieu à des chocs plus ou moins redoutables. Une pompe centrifuge, au contraire, établit un courant d'eau de vitesse uniforme dans lequel aucun choc, ni aucune élévation anormale de pression ne peuvent être à craindre. D'autre part, l'indépendance du moteur permet de proportionner le débit de la pompe aux besoins de la condensation, ce qui n'est pas possible lorsque la pompe est conduite par les pistons de l'appareil principal. Aussi arrive-t-il, qu'en général, le débit des pompes de circulation directe-

ment conduites est très exagéré aux petites allures, qui sont les plus fréquentes dans les machines des bâtiments de guerre.

Pour ces motifs, l'emploi de pompes centrifuges de circulation à moteur indépendant doit être considéré comme un progrès pour tous les appareils puissants et d'allure rapide ; au contraire, pour des appareils de bâtiments de commerce, fonctionnant constamment à une allure relativement modérée (50 à 70 tours), la pompe de circulation attelée directement présente l'avantage d'une plus grande simplicité et d'une surveillance plus facile ; ce dispositif devra donc être conservé dans certains cas, même pour les appareils les plus récents et les plus perfectionnés.

L'appareil de l'*Amiral Duperré* est le type des machines des cuirassés à deux hélices de l'époque. Les machines sont à pilon et placées, l'une à tribord, l'autre à babord, séparées par une cloison longitudinale médiane. La partie supérieure des cylindres se trouve, il est vrai, au-dessus de la flottaison, mais elle est protégée par la cuirasse ; ses dispositions générales ne diffèrent pas, en principe, de celles des machines des grands paquebots. Les pompes à air sont conduites par les machines principales, mais les pompes de circulation sont indépendantes. En ce qui concerne les chaudières, nous trouvons que, pour réaliser la puissance maximum, on fait appel dans une certaine mesure au tirage forcé par jets de vapeur dans la cheminée. La consommation par heure et par mètre carré de grille étant d'environ 90 kilogrammes au tirage naturel, on arrive à la pousser à 130 ou 140 kilogrammes, c'est donc une augmentation de 40 % environ, mais, par suite de la dépense de la vapeur lancée dans la cheminée, la production de la chaudière et par suite la puissance de la machine n'est guère augmentée que de 25 %. Enfin, la dépense d'eau douce est considérable et un remplacement par de l'eau de mer ne peut-être admis que pour une marche de courte durée, 3 ou 4 heures au plus.

Ce système qui n'a que le mérite d'une très grande simplicité, ne répond donc pas aux conditions d'une marche normale et prolongée, aussi n'en trouverons-nous plus dans les appareils construits à partir de 1878. A cette date déjà, nous voyons dans l'appareil des croiseurs *Forfait*, *d'Estaing*, etc., l'application d'un système de tirage forcé plus rationnel et plus puissant : celui de la ventilation par refoulement d'air en chambre close.

La chambre close imaginée en Angleterre pour les appareils de torpilleurs, dont elle est en quelque sorte le principe essentiel, a été appliquée aux grands navires, grâce à l'initiative de notre marine militaire. Les résultats obtenus sur le *Forfait*, construit à Marseille en 1878 et essayé en 1880, et ceux du *d'Estaing*, construit, à la même époque, dans les ateliers de la Société au Havre, confirmèrent les prévisions résultant des premières expériences encore incomplètes, exécutées antérieurement par la marine, à Cherbourg, sur le *Labourdonnais*. La puissance qui était de 2094 chevaux au tirage naturel (13

décembre 1880) s'éleva à 2961 chevaux au tirage forcé (16 décembre 1880). A cette allure, la consommation par heure et par mètre carré de grille se trouva de 141 kilogrammes; mais la consommation par heure et cheval atteignit 1 k. 23, chiffre élevé, dénotant une utilisation du combustible moins bonne qu'au tirage naturel. Ce fait résultait de ce que la surface de chauffe des chaudières en usage, n'était pas proportionnée en vue d'une combustion aussi active et montra la nécessité de modifier le type des générateurs en même temps que le système de tirage. Nous trouverons, en effet, dans les applications ultérieures du tirage forcé un rapport de la surface de chauffe à la surface de grille voisin de 45, tandis que le rapport admis pour le tirage naturel était de 28 à 30.

II. — Modifications apportées aux divers types de machines compound depuis 1878.

I. — NAVIRES DE COMMERCE

Pendant les années qui suivirent 1878, les machines construites dans les ateliers ont toujours été étudiées en vue d'améliorer le régime de la détente en employant des pressions initiales plus élevées et surtout en perfectionnant le type des tiroirs de détente. Au lieu de simples tiroirs à grille glissant sur une plaque fixe placée à l'entrée de la boîte à tiroirs, la détente variable est effectuée par des tiroirs de détente placés sur le dos des tiroirs principaux de distribution. On sait que ce dispositif possède le précieux avantage de couper l'afflux de vapeur, aussi près que possible du cylindre, en réduisant à un minimum les espaces morts. On peut ainsi obtenir une détente correcte pour des introductions au petit cylindre de 0,30 à 0,20, chose irréalisable dans l'ancien système où les espaces morts, existant entre la glace de détente et le cylindre, atteignaient parfois 50 % du volume de ce dernier. Ces tiroirs spéciaux de détente sont de divers types : tantôt ils consistent en un simple tiroir à coquille dont la course peut être modifiée en marche ; tantôt ils sont du système Meyer. Grâce à ces dispositions, les diagrammes de cette époque présentent une apparence régulière, une forme en quelque sorte théorique. D'autre part, les consommations de charbon s'abaissent souvent jusqu'à 800 ou même 750 grammes environ, c'est-à-dire à la limite inférieure des chiffres qui aient jamais été constatés sur les machines compound dans une expérience précise de consommation prolongée pendant 6 heures; quant au groupement de l'appareil; à la disposition générale des organes, aucun changement n'a été apporté au type, en quelque

sorte classique, de la machine compound de commerce qui a conservé toute sa simplicité. Mais on s'est attaché à rendre les démontages et les visites de plus en plus faciles ; à améliorer les dispositifs de graissage ; en un mot, à perfectionner tous les détails qui ont, en service courant, une si grande importance. Le résultat a certainement été largement atteint ; la plupart des navires construits à cette époque ont fait un service très actif ; aucun n'a jamais éprouvé d'avaries ni nécessité d'autres réparations que des retouches d'entretien courant.

II. — GRANDS PAQUEBOTS

Les exigences toujours croissantes du service des paquebots transatlantiques imposèrent, vers 1884, pour les grands paquebots *Gascogne*, *Bourgogne*, *Normandie* et *Champagne*, de la Compagnie générale transatlantique, la création de machines d'une puissance bien supérieure à celle des types construits antérieurement. Il s'agissait, en effet, aux termes du marché, de développer plus de 8000 chevaux sur une seule hélice. Pour une telle puissance, l'emploi d'une machine compound eût exigé des cylindres de dimensions excessives. On adopta donc six cylindres disposés en trois groupes Woolf, composée chacun d'un petit et d'un grand cylindre. Le premier est placé en tandem sur le couvercle du second ; les deux pistons reliés par une tige commune actionnant, par l'intermédiaire d'une seule bielle, un même coude de l'arbre moteur. La machine étant composée de trois groupes identiques, il est clair que les couples moteurs transmis à chaque manivelle sont égaux entre eux à toutes les allures, circonstance avantageuse au point de vue de la douceur et de l'uniformité du mouvement de rotation (pl. 97-98).

On doit, sans doute, attribuer en partie à cette circonstance le bon fonctionnement de ces appareils dont la vitesse de piston ($3^m,50$) est pourtant assez élevée et qui sont appelés à marcher à grande allure dans des mers souvent très dures. Cette nécessité oblige à calculer très largement les organes de machines pour éviter les chauffages et avaries en cours de route.

Les arbres atteignent $0^m,576$ de diamètre pour les navires à une seule hélice. Ils sont du type *built up* ou assemblés.

La disposition bien connue des appareils en trois groupes composés d'éléments identiques est favorable à la surveillance et à l'entretien, de sorte que, malgré leur grande puissance, ces machines sont d'une conduite facile.

La puissance réalisée a atteint 8200 chevaux et la consommation à grande vitesse n'a pas dépassé 800 grammes. Depuis leur mise en service sur la ligne de New-York, les deux paquebots ont soutenu souvent la vitesse moyenne de 18 nœuds.

Nous verrons plus loin le nouveau type adopté par la Compagnie transatlantique pour son nouveau paquebot, *la Touraine*, qui a deux machines à triple expansion.

Les machines à quadruple expansion vont évidemment bientôt figurer dans l'effectif des machines marines.

A l'Exposition universelle, la maison Denny et Cie, de Dumbarton, exposait le modèle de la machine à triple expansion du *Buenos-Ayres*, navire de la Compagnie transatlantique de Barcelone.

III. — NAVIRES DE GUERRE, CUIRASSÉS ET GRANDS CROISEURS

La machine du cuirassé d'escadre le *Marceau* est tout à fait analogue, comme disposition d'ensemble, à celle de l'*Amiral Duperré*. Elle se compose de deux machines compound à trois cylindres actionnant chacune une hélice. Comme pour l'*Amiral Duperré*, les pompes à air sont conduites par les pistons moteurs, par l'intermédiaire de balanciers et les pompes centrifuges de circulation, au nombre de deux pour chaque groupe, sont actionnées par des moteurs spéciaux.

Mais l'appareil du *Marceau* se distingue de celui de l'*Amiral Duperré* par le rôle bien plus important attribué au tirage forcé ; ainsi, tandis que la puissance prévue au tirage naturel ne dépasse pas 5548 chevaux on doit développer au tirage forcé 12000 chevaux.

Ce résultat est assuré par l'emploi de huit ventilateurs capables de refouler chacun 45000 mètres cubes d'air par heure dans les chambres de chauffe, ce qui permettra de pousser la combustion jusqu'à 250 kilogrammes de charbon environ par heure et par mètre carré de grille. Mais, comme nous l'avons dit, une combustion aussi active, exige pour être efficace, une surface de chauffe plus étendue que celle des anciens types de chaudières à retour de flamme. Par suite, on a abandonné sur le *Marceau* le modèle de générateurs jusqu'alors en usage ; le faisceau de tubes a été placé, non plus en retour au-dessus des foyers, mais dans le prolongement de ceux-ci, disposition qui permet de lui donner un bien plus large développement. Ainsi, la surface totale des grilles étant de $52^{m2},7$, la surface de chauffe atteint $2425^{m2},60$, soit 46 fois la surface de grille.

Le nouveau type de chaudières a été, avant la mise à bord, l'objet d'expériences très précises, exécutées sous le contrôle de M. l'Ingénieur de la Marine Guillaume et destinées à déterminer le rendement du charbon en vapeur aux diverses allures et à vérifier le bon fonctionnement du générateur au tirage forcé. Quelques difficultés qui s'étaient manifestées d'abord, en ce qui concerne l'étanchéité de l'emmanchement des tubes sur la plaque de la boîte à feu, ont été heu-

reusement surmontées, grâce à l'emploi (imité des locomotives) de tubes en fer raboutés en cuivre rouge.

Quant à l'utilisation, les expériences montrèrent que par une combustion de 250 kilogrammes par mètre carré de grille, soit 5 kil. 40 par mètre carré de surface de chauffe, on peut compter sur une production de 8 kilogrammes de vapeur par kilogramme de bon charbon (briquette d'Anzin). Ces résultats ne laissent aucun doute au sujet du bon fonctionnement du nouveau système de chaudières et de la réalisation de la puissance de 1200 chevaux de l'appareil du *Marceau*.

Le *Cécille*. — L'appareil du grand croiseur le *Cécille* est encore du type compound, mais sa disposition est différente de celles que nous avons examinées jusqu'ici (pl. 99-100).

L'appareil dans son ensemble, comprend huit cylindres formant quatre groupes compound, dont deux actionnent l'hélice de babord et deux celle de tribord. Il y a donc de chaque bord un groupe avant et un groupe arrière. L'arbre de couche du groupe AV est relié à celui de l'AR par des tourteaux d'entraînement disposés de manière à permettre une disjonction rapide. Cette disposition est motivée par l'intérêt qu'il y a, au point de vue économique, à faire fonctionner le groupe arrière seul, lorsqu'on marche à petite vitesse, c'est-à-dire à une allure qui peut n'exiger que le sixième ou le huitième de la puissance maximum de l'appareil. On sait en effet, que lorsqu'on réduit graduellement l'allure de la machine, il arrive qu'à partir d'une certaine limite, la consommation de charbon par cheval augmente rapidement, et cela, parce que les surfaces refroidissantes étant énormes en raison du poids de vapeur qui traverse les cylindres, les condensations nuisibles prennent une importance relative de plus en plus grande.

La division de l'appareil en deux a pour effet de doubler les limites entre lesquelles le régime économique est admissible, et, à ce titre, mérite d'être recommandé pour les grands appareils de bâtiments de guerre.

L'appareil du *Cécille* diffère encore des précédents, par ce fait que les pompes à air sont, comme les pompes de circulation, indépendantes de l'appareil principal et conduites par des moteurs spéciaux. Cette disposition adoptée à la demande de la Marine, est motivée par des raisons analogues à celles qui avaient déterminé l'emploi de pompes de circulation indépendantes.

Il peut y avoir intérêt en effet, à régler l'allure des pompes à air indépendamment de celle de l'appareil principal, ou même à le faire fonctionner pendant les stoppages pour établir, avant le départ, un certain vide au condenseur.

Toutefois nous devons dire que l'indépendance des pompes à air est moins souvent justifiée que celle des pompes de circulation. Ce dispositif entraîne une certaine complication dans la surveillance, multiplie le nombre des organes et augmente l'encombrement; il a été, à notre avis, employé parfois sans utilité bien évidente. Nous en reconnaissons l'avantage pour les machines horizontales rapides qu'on tient à munir de pompes à air verticales, lesquelles procurent en

général un meilleur vide que les pompes horizontales, mais dans la plupart des autres cas, nous préfèrerions conserver les pompes attelées sur les pistons, moteurs.

Le Cécille doit développer au tirage forcé une puissance de 10200 chevaux qui sera vraisemblablement dépassée. Ce résultat est assuré par l'emploi du tirage forcé en chambre close, moins actif toutefois que celui qui a été prévu pour le *Marceau*. Les chaudières sont du type double (double ended) ; leur surface de grille est de 79^{m2},20, en sorte qu'une combustion de 130 kilogrammes par heure et par mètre carré de grille, soit 4 kil. 10 par mètre carré de surface de chauffe sera suffisante pour la puissance maximum.

L'appareil du cuirassé espagnol *Pelayo* présente, dans son ensemble, le même groupement que celui du *Cécille*. Il se compose de quatre groupes compound à deux cylindres, dont deux actionnent l'hélice de tribord et deux celle de babord. Les pompes à air sont conduites par les pistons moteurs.

Les chaudières, à retour de flamme, au nombre de 12 à trois foyers chacune, sont réparties dans quatre chambres de chauffe. La surface des grilles étant de 76 mètres carrés l'appareil a atteint au tirage naturel sa puissance maximum prévue de 8000 chevaux.

Néanmoins le *Pelayo* est pourvu des installations nécessaires au tirage forcé en vase clos. On a ainsi réalisé très facilement la puissance de 9 600 chevaux, puissance maximum correspondant au poids de vapeur que la machine pouvait consommer à pleine introduction et imprimant au cuirassé la vitesse de 16 nœuds, vitesse maxima compatible avec le degré d'acuité des formes tracées en vue d'une vitesse de 16 nœuds.

Le tirage forcé n'a donc augmenté la puissance que dans le rapport de 9 600 à 8 000, soit de 20 %. Ce résultat est sans doute appréciable, mais il importe de remarquer que l'effet du tirage forcé eût été bien plus accentué, si l'appareil évaporatoire eût été moins largement proportionné, et si, par exemple, on n'avait fait au tirage naturel que 6 500 chevaux.

En d'autres termes, si on n'avait eu en vue que la vitesse maximum aux essais un appareil moins grand mais plus poussé, aurait pu conduire au même résultat final avec des chaudières moins lourdes ; partant avec un moindre déplacement du navire et une moindre dépense ; mais, d'un autre côté, qu'aurait-on perdu, au point de vue de la facilité de la chauffe et de l'économie du combustible? Il y a là une question très complexe que nous retrouverons en partie dans les appareils de croiseurs et de petits navires, où l'on s'est préoccupé avant tout de la réduction des poids au minimum.

VI. — CROISEURS.

Les appareils de 3 200 chevaux des croiseurs à 2 hélices, *Epervier*, *Faucon*,

Vautour, ont été étudiés à une époque où l'administration de notre marine militaire se préoccupant, avant tout, de réduire le poids des machines, afin de pouvoir donner aux navires eux-mêmes le *moindre déplacement* compatible avec un ensemble donné de conditions de protection, d'armement, de vitesse, de rayon d'action.

La France avait été précédée dans cette voie de la recherche des minima par l'Angleterre, et, en particulier pour ce qui concerne les machines, par l'usine Hawthorn Leslie et Cie de Newcastle.

Ces derniers constructeurs avait fourni à notre marine l'appareil moteur du *Condor*, dont les plans ont servi de base au programme des appareils commandés par la marine pour les croiseurs similaires *Epervier*, *Faucon*, *Vautour*.

Ces machines se composent de deux groupes compounds horizontaux à deux cylindres, placés l'un en avant de l'autre et actionnant chacun une hélice.

Aux essais, les appareils du type *Faucon* ont développé 3325 chevaux, ce qui fait ressortir leur poids moyen à 99 kil. 6 par cheval, dont 40 kilogrammes pour les machines proprement dites, chiffre inférieur à la moitié de celui de la machine *Miaoulis*, 97 kil. 4. La légèreté relative du *Faucon* est due surtout à son grand nombre de tours (140) qui correspond à une vitesse de piston de $4^m,26$, presque double de celle du *Miaoulis*, ($2^m,45$).

D'autre part, les échantillons sont réduits au-dessous des valeurs admises antérieurement, de sorte que la matière travaille et les surfaces frottantes sont plus chargées. L'expérience a montré que ces conditions ne sont pas incompatibles avec un bon fonctionnement mais on comprend qu'elles imposent un choix de matériaux particulièrement résistants et, pour certains organes, des formes étudiées spécialement en vue de la légèreté, l'économie de main-d'œuvre étant, cette fois, d'importance secondaire. Ainsi, dans les appareils légers, les arbres sont forés ; il en est de même des tiges de piston, des bielles, des tiges de tiroir, etc... l'acier forgé est employé au lieu du fer, et l'acier moulé se substitue à la fonte pour les pièces de formes simples comme les pistons, les couvercles, les plaques de fondation, les bâtis. Les dimensions des pièces ne sont arrêtées qu'après une analyse aussi complète que possible des forces en jeu, et non pas seulement par l'application des formules pratiques de construction autrefois en usage ; formules d'une approximation parfois assez lointaine et laissant une trop large part aux excédants de matière admis par précaution.

En particulier, on doit faire intervenir les efforts dûs à l'inertie des masses en mouvement ; efforts parfois supérieurs aux charges statiques dûes à la pression de la vapeur. Pour les tiroirs en particulier ce genre d'efforts a une importance de premier ordre et doit intervenir dans le tracé du mécanisme de conduite, dont le bon fonctionnement est, peut-être, le point le plus délicat du problème des machines rapides.

Types des machines constru

	Paquebot *Ville de Pernambuco*		Paquebot *Canton*		Paquebot *Golconde*		Paquebot *Provenc*	
Système de la machine	1 machine compound à 2 cylindres à pilon		1 machine compound à 2 cylindres à pilon		1 machine compound à 2 cylindres à pilon		1 machine com à 2 cylind à pilon	
Puissance totale prévue en chevaux indiqués	1000 chev.		1600 chev.		1700 chev.		2400 che	
Pression de régime	$5^k,25$		5^k		5^k		$5^k,33$	
Système des chaudières	cylindrique à 3 foyers à retour de flammes 2 corps		cylindrique à 3 foyers à retour de flammes 4 corps		cylindrique à 3 foyers à retour de flammes 4 corps		cylindriq à 3 foye à retour de fl 4 corps	
Surface de grille	12^{m2}		$22^{m2},08$		$23^{m2},60$		$26^{m2},24$	
Surface de chauffe	$302^{m2},89$		$556^{m2},88$		$583^{m2},41$		$666^{m2},7$	
Diamètre des cylindres petits	$0^m,830$		$1^m,000$		$1^m,020$		1^m 09	
Diamètre des cylindres grands	$1^m,600$		$1^m,850$		$1^m,870$		$2^m,000$	
Rapports des surfaces des pistons	3,716		3,422		3,361		3,367	
Course des pistons	$1^m,000$		$1^m,080$		$1^m,080$		$1^m,250$	
Nombre de tours maximum prévu	70		68		70		70	
Vitesse des pistons	$2^m,333$		$2^m,448$		$2^m,520$		$2^m,916$	
Coefficient de détente	5,546		5,11		5,016		4,95	
Volume final p. chev. et p. seconde	$4^{lit},69$		$4^{lit},099$		$4^{lit},071$		$3^{lit},817$	
Nombre et système des pompes à air	2 verticales à simple effet, mues par balanciers		1 verticale à simple effet, mue par balancier		1 verticale à simple effet, mue par balancier		1 verticale à effet, mue balancie	
Nombre et système des pompes de circulation	1 pompe centrifuge		1 pompe centrifuge		1 pompe centrifuge		1 pompe cen	
Surface de condensation totale	175^{m2}		$271^{m2},92$		$271^{m2},92$		$384^{m2},7$	
d° par cheval	$0^{m2},175$		$0^{m2},1699$		$0^{m2},16$		$0^{m2},16$	
Puissance réalisée à l'essai de vitesse	1118 chev.		1913 chev. 4		2151 chev.		2621 che	
d° de consommation	841 chev. 4		925 chev.		1060 »		1223 ch	
Consommation par cheval et par heure : Essai de vitesse	»		»		»		»	
» de consommat.	$0^k,821$		$0^k,769$		$0^k,724$		$0^k,78$	
Consommation p. heure et p. mètre carré de grille : Essai de vitesse	»		»		»		»	
« de consom.	$57^k,59$		$32^k,23$		$32^k,54$		$36^k,51$	
		p. chev.		p. chev.		p. chev.		p.
Poids — Machines	116010^k	$103^k,7$	173050^k	$90^k,4$	179625^k	$83^k,0$	230070^k	
Poids — Chaudières	70430	63 ,0	132620	69 ,3	135325	62 ,9	159230	
Poids — Eau	37900	33 ,9	63000	32 ,9	65400	30 ,4	82200	
Poids — Total		$200^k,6$		$192^k,6$		$176^k,3$		1

: 1878 *jusqu'en* 1888.

ıebot :ogne	Cuirassé d'escadre *Marceau*	Cuirassé d'escadre *Pelayo* (Espagne)	Croiseur de première classe, *Cécille*	Croiseurs de troisième classe *Epervier, Faucon, Vautour*	Croiseur *Unebi* (Japon)
: compound res, à pilon, s à cylind. rposés	2 machin. compound à 3 cylind. chacune, à pilon	4 machin. compound à 2 cylind. chacune, en deux groupes, à pilon	4 machin. compound à 2 cylind. chacune, en deux groupes, à pilon	2 machin. compound à 2 cylind. chacune, horizontal. (inclinées de 5°,30' sur l'axe	2 machin. compound à 2 cylindres inclinés
) chev.	12000 chev.	6800 chev. (Tirage naturel)	9620 chev.	3200 chev.	6000 chev.
6^k	6^k	5^k,75	6^k,25	7^k	6^k,00
ıdrique foyers de flammes	cylindrique à 3 foyers à flamme directe	cylindrique à 3 foyers à retour de flammes	cylindrique, double ended, à 6 foyers, à retour de flammes	cylindrique à 2 foyers, à flamme directe	cylindrique à 2 foyers à flamme directe
corps	8 corps	12 corps	6 corps	4 corps	9 corps
0^{m2}	58^{m2},0240	75^{m2},6	79^{m2},20	18^{m2}	36^{m2},54
321^{m2}	2170^{m2},40	1975^{m2},57	2223^{m2}	776^{m2},7	1435^{m2}
3 cylind.	1^m,580 1 cylind.	1^m,01	1^m,000	0^m,762	1^m,04
d°	2^m,020 2 »	1^m,84	1^m,840	1^m,524	1^m,800
3,6	3,269	3,319	3,386	4	2,99
",700	1^m,000	1^m,00	0^m,920	0^m,910	0,950
60	90	81	104	130	127
',400	3^m,000	2,70	3^m,189	3^m,950	4,021
,446	4,81	5,00	5,05	6,15	6,00
',126	3^{lit},259	4^{lit},223	3^{lit},527	4^{lit},5	3^{lit},41
les à simple nues par ıanciers	1 par machine verticale à simple effet, mue par balancier	1 par machine verticale à simple effet, mue par balancier	1 par machin., verticale à simple effet, une p. un moteur spécial	2 pompes p. l'appareil complet, verticales à simple effet, mues p. un moteur spécial	4 verticales à simple effet, mues par 2 moteurs compound auxiliaires
centrifuges	2 pompes centrifuges par machine	1 pompe centrifuge par machine	1 pompe centrifuge par machine	1 pompe centrifuge par machine	2 pompes centrifuges mues par les moteurs des pompes à air
79^{m2}	803^{m2},5 p. mach.	340^{m2} p. machine	360^{m2},75 p. mach.	251^{m2} p. mach.	970^m,72
',172	0^{m2},136	0^{m2},20	0^{m2},15	0^{m2},157	0^{m2},161
chev. 7	»	9564 chev. (Tirage forcé)	»	3325 chev. 7	6878 chev.
5 chev.	»	2559 chev.	»	2108 chev.	»
»	»	»	»	0^k,916	»
',766	»	0^k,721	»	0^k,828	»
»	»	»	»	164^k	»
9^k,6	»	24^k,49	»	97^k,08	»
k	p. chev.	p. chev.	p. chev.	p. chev.	p. chev.	p. chev.	p. chev.	p. chev.
	79^k,7	731000^k	61^k,»	599260^k	62^k,66	619000^k	64^k,5	131310^k	39^k,5	273970^k	45^k,6
	63 ,1	354000	29 ,5	438370	45 ,84	415000	43 ,2	131640	39 ,6	200000	33 ,3
	27 ,1	176000	14 ,7	213000	22 ,27	191000	20 ,0	68200	20 ,5	99243	16 ,5
	169^k,9		105^k,2		130^k,77		127^k,7		99^k,6		95^k,4

Dans ces machines, les pompes à air, aussi bien que les pompes de circulation et les pompes alimentaires sont conduites par des moteurs spéciaux, en sorte que l'appareil principal se trouve réduit à un ensemble d'organes mécaniques simples capable de supporter une allure rapide.

Il est toutefois dans l'étude de ce genre d'appareils, un point dont la prévision échappe à tout calcul : c'est la possibilité de voir se produire dans la coque du navire, des vibrations dont la période serait synchrone de celle de la durée d'un coup de piston. Dans la marche à grande vitesse, cette circonstance qui s'est manifestée sur deux contre-torpilleurs Italiens, peut déterminer des vibrations d'une intensité telle, qu'on est forcé de renoncer à lancer la machine à l'allure prévue, en sorte que la vitesse reste également inférieure aux prévisions.

Les machines du type *Faucon* ont eu un fonctionnement excellent, meilleur peut être que celui du *Condor*, qui provient d'une des plus célèbres usines de l'Angleterre.

Au point de vue économique, les appareils français comparés à celui du *Condor*, ont présenté une supériorité marquée due aux plus grandes sections de passage offertes à la vapeur. Ainsi, la contre-pression sous le piston du cylindre de détente, qui avait atteint sur le *Condor* la valeur de 0^k60 n'a pas dépassé 0^k35 sur le *Faucon* et, en somme, nos machines ont consommé environ 10 °/₀ de charbon de moins que la machine anglaise.

Les chaudières des appareils du type *Faucon* sont à flamme directe comme celles du *Marceau*, mais elles n'ont que deux foyers. Leur surface de chauffe, proportionnée en vue d'un tirage forcé actif, représente 43 fois la grille. Dans les essais à grande vitesse, on a brûlé 164 kilogrammes de charbon par mètre carré de grille, soit 3^k8 par mètre carré de surface de chauffe et 0^k92 par cheval. Ces appareils n'ont donné lieu à aucune observation, ni aux essais, ni en service courant.

APPAREILS A DEUX HÉLICES DE 6060 CHEVAUX INDIQUÉS CONSTRUITS PAR LE CREUSOT

(Planches 101 à 106)

Nous allons décrire les machines des croiseurs *Troude*, *Lalande*, *Cosmao*.

L'appareil moteur se compose de deux machines principales compound, horizontales, à deux cylindres et à bielles directes, actionnant chacune une hélice. Les dimensions principales des cylindres sont les suivantes :

Diamètre du cylindre d'admission	$0^m,940$
» » de détente	1 ,880
Course commune des pistons	0 ,915

La distribution de la vapeur dans chaque cylindre est faite par deux tiroirs cylindriques placés à la partie supérieure et manœuvrés par le dispositif spécial de M. Marshal. L'introduction dans les cylindres est variable en marche au moyen de l'appareil de changement de marche.

La vapeur admise dans le cylindre d'admission passe ensuite dans le cylindre de détente d'où elle est évacuée au condenseur correspondant. Les condenseurs sont du système tubulaire horizontal ; la circulation de l'eau réfrigérante se fait à l'intérieur des tubes au moyen d'une pompe centrifuge actionnée par un moteur spécial.

Le même moteur actionne également deux pompes à air verticales destinées à faire le vide dans le condenseur de chaque machine.

Les pompes alimentaires et les pompes de cale ont également des moteurs indépendants.

L'appareil évaporatoire comprend cinq corps de chaudières cylindriques à trois foyers chacun du type à flamme directe (dit de l'amirauté) avec tubes dans le prolongement des foyers et chambre de combustion intermédiaire.

Surface de la grille.	$27^{m2},50$
Surface totale de chauffe	$1250^{m2},00$
Timbre	7 k.

Des ventilateurs sont installés dans les chambres de chauffe pour l'aération et le fonctionnement du tirage forcé en vase clos.

La recette de l'appareil de chaque navire comporte trois essais :

Un essai à tirage forcé à outrance d'une durée de deux heures avec obligation de réaliser au moins 6.060 chevaux.

Un essai à tirage modérément forcé, d'une durée de douze heures, à l'allure de 4240 chevaux, pendant lequel la consommation mesurée pendant six heures ne dépassera pas 0 kil. 900 par cheval et par heure.

Un essai à tirage naturel d'une durée de six heures pendant lequel la puissance développée sera d'environ 1510 chevaux, et la consommation ne dépassera pas 1 kilogramme par cheval et par heure.

MACHINE DES BATEAUX-EXPRESS DE PARIS

La machine des bateaux-express de Paris, construite par M. Jouffray de Vienne, est une machine compound à deux cylindres, actionnant une hélice de $1,^{m}40$ de diamètre et de $1^{m},65$ de pas (pl. 107-108),

Les diamètres des cylindres sont de 270 et 445 millimètres avec une course de 300 millimètres.

La chaudière est timbrée à 6 kilogrammes. La machine tournant à 200 tours développe un travail de 90 chevaux.

Dans ces conditions le bateau, plein, pesant 62 tonnes, descend la Seine à une vitesse de 21 kilm. 06 à l'heure et remonte à 14 kilm. 540, soit 17 kilm. 800 comme moyenne, ou en nœuds 9,61.

La consommation est de 1 kilg. 21 de coke par cheval et par heure, ou de 7 kilg. 18 par kilomètre.

La machine avec ses accessoires pèse 5300 kilogrammes et la chaudière pleine 6500. Le bateau a 29^{m},20 de longueur.

CANOT WHITE, CONSTRUIT PAR LA MAISON CHALIGNY

(Planches 109 à 112)

La machine de ce canot, comme celle de nos torpilleurs, est un type de machine intensive. Elle a été construite d'après les plans du ministère de la marine, et le moteur pesant 180 kilogrammes peut développer un travail de 18 chevaux-vapeur à 375 tours; la vitesse poussée à 450 tours, le travail développé atteint 20 chevaux.

Il existe douze machines semblables et la consommation obtenue est de 1 kil. 300 par cheval et par heure.

La chaudière est timbrée à 8 kil. 500. Les cylindres ont des diamètres de 101 et 178^{mm} et une course de 127^{mm}.

CANOT DE 7^{m},80, CONSTRUIT POUR LE CANAL DE SUEZ PAR LES ANCIENS ÉTABLISSEMENTS CAIL

(Planches 113-114)

Nous devons également mentionner la machine pour canot à vapeur de 7^{m},80 construite par la Société des anciens établissements Cail.

Elle est formée par la juxtaposition de deux machines compound verticales disposées en tandem, le petit cylindre en haut; chacune a sa distribution particulière placée vers l'extérieur de la machine.

Diamètre des cylindres HP.	125 mil.
» » BP.	175
Course.	150
Admission totale.	$\frac{1}{3}$
Nombre de tours.	350
Timbre de la chaudière	6 kil.

La force de la machine dans ces conditions est de 32 chevaux indiqués, développant une vitesse de 7 nœuds, avec une consommation de 1 kilog. 550 de

charbon par heure, et de 12 kilog. 6 de vapeur par cheval-heure, d'après les constructeurs.

Le diamètre des pompes alimentaires est de 38 millimètres;

La course de ces pompes de 52 millimètres;

Le diamètre de la pompe à air, 140 millimètres;

La course » » 38 »

Le poids de la machine est très réduit; le canot avec ses accessoires, bien que la coque soit en bronze, ne pèse que 2 622 kilogrammes.

Nous donnons également (planches 115-116, 117-118, 119-120), les dessins de deux autres types d'appareils construits par les anciens établissements Cail pour la Marine de l'État : Machines des « Canots à vapeur de 6^{m},70 pour le service de la Flotte », et des « Avisos à roues le *Lézard* et la *Cigogne* ».

Machines à triple expansion

Les premières machines compound marchaient à une pression de régime de 4 kilogrammes par centimètre carré. Au bout de quinze ou vingt ans, on atteignait 7 kilogrammes. L'élévation de la pression était, en somme, corrélative d'une amélioration du régime économique, toutefois l'avantage parut peu sensible à partir de 6 kilogrammes, et l'on pouvait prévoir qu'il serait nul au-dessus de 7 kilogrammes.

La raison de ce fait est connue aujourd'hui : elle se trouve dans les condensations nuisibles dont l'importance augmente rapidement avec la détente et qui finissent par annuler le bénéfice théorique d'une expansion prolongée davantage. Cette limite étant atteinte, il faut, pour bien utiliser une pression initiale plus élevée, adopter un cylindre supplémentaire, ce qui revient à introduire un échelon de plus dans la cascade de la détente. Les premières machines à triple expansion ont été construites à peu près simultanément vers 1872 par M. Benjamin Normand, pour le *Montézuma;* en Angleterre, par M. Alexandre de Kirk. Mais la supériorité économique du nouveau type ne se manifesta d'une manière évidente qu'en 1880, c'est-à-dire après que le progrès de la construction des chaudières eût permis d'aborder des pressions de régime de 8 kilogrammes et plus par centimètre carré.

I. — NAVIRES DE COMMERCE.

Si l'on considère l'ensemble des poids consacrés à la propulsion, machine, chaudière et charbon, on reconnaît que l'amélioration du régime économique est corrélative d'une réduction des poids nécessaires pour permettre au navire d'exécuter un certain parcours à une vitesse donnée. Par suite, si l'on compare deux navires de même déplacement, l'un, muni d'une machine compound, l'autre, d'une machine à triple expansion, ce dernier, non seulement dépensera moins de charbon à vitesse égale, mais pourra disposer pour son chargement d'une fraction bien plus importante de son déplacement. L'avantage sera, bien entendu, d'autant plus grand, que l'approvisionnement de charbon devra correspondre à un parcours plus long. Ainsi, lorsqu'il s'agit de traversées d'environ 4000 milles, on peut, sans exagération, évaluer à 30 ou 35 % la supériorité de rendement du second navire sur le premier.

Aussi voyons-nous souvent, mais surtout en Angleterre, des Compagnies de navigation condamner des appareils compound de leurs paquebots, appareils encore susceptibles de rendre de bons services, uniquement pour les remplacer par des appareils à triple expansion plus économiques. Cet exemple sera suivi sans doute par les Compagnies françaises.

Malgré l'addition d'un troisième cylindre, la machine commerciale conserve le caractère de simplicité qui lui est propre. Si, d'une part, la machine proprement dite comprend quelques organes supplémentaires et exige, par cela même, un peu plus de surveillance et d'entretien que la machine compound, ce léger inconvénient est largement compensé par la facilité plus grande de la chauffe qui résulte de la moindre consommation de charbon.

En résumé, à quelque point de vue qu'on se place, la machine à triple expansion ne peut présenter que des avantages sur le type compound. Les machines des Cargo-boats des Messageries maritimes *Dordogne*, *Charente* et *Adour*, se distinguent des précédentes par un groupement un peu différent des principaux organes : les tiroirs sont placés, non pas dans l'axe longitudinal des cylindres, mais sur le côté; ils ne sont plus conduits par des coulisses de Stéphenson, mais par un mécanisme du système que M. F.-C. Marshall, de Newcastle, a beaucoup contribué à répandre, mais qui n'exige qu'un seul excentrique.

L'ensemble de la machine présente un aspect très satisfaisant par sa simplicité et la facilité d'accès de toutes ses parties. Les résultats économiques de la machine de la *Dordogne*, la première et la seule essayée jusqu'ici, de cette série, sont équivalents à ceux de la *Franche-Comté*. (pl. 121-122).

Grands Paquebots

L'appareil de 5400 chevaux du grand paquebot le *Brésil*, exécuté à Marseille sur les plans de la Compagnie des messageries maritimes, est comme ceux dont nous venons de parler, à triple expansion.

Les tiroirs sont conduits par un mécanisme du système Marshall, mais ils sont néanmoins placés dans l'axe longitudinal des cylindres. Cette circonstance a conduit à multiplier le nombre des leviers de transmission de mouvement, en sorte que l'appareil présente dans son ensemble une apparence moins simple que celle du type *Adour*.

Les chaudières du *Brésil* sont du type double ended à retour de flamme. La combustion y est activée par un système de ventilation qui n'est pas précisément un tirage forcé, et qui a pour seul but de rendre l'accès de l'air aux foyers aussi facile qu'il pourrait l'être, si la chaudière, au lieu d'être placée au fond de la cale, se trouvait dans un espace absolument dégagé. A cet effet, des ventilateurs refoulent l'air pris à l'intérieur dans une canalisation qui présente une bouche en regard de chaque foyer. Les panneaux restant ouverts, on ne peut créer ainsi aucune pression, mais au moins arrive-t-on à éviter une dépression qui se produirait si l'appel naturel des foyers devait seul faire affluer l'air au travers des panneaux, toujours plus ou moins encombrés. L'expérience a montré qu'il est possible d'arriver par ce moyen à brûler près de 120 kilogrammes de charbon par mètre carré de grille aux essais et 70 à 80 en service normal. Par suite, il a été possible de réduire de 1/5 environ la surface des grilles et le poids des chaudières qui eussent été nécessaires avec la seule ressource du tirage naturel. De là une économie de poids de l'appareil et, par suite, une réduction du déplacement nécessaire pour satisfaire à un programme donné. Cette installation est peut-être un premier pas vers une application du tirage forcé ou activé, aux paquebots de la marine marchande en général. Sans doute, on ne peut songer à imposer à ces navires pour de longues traversées, un régime de chauffe à outrance qu'il est difficile de maintenir pendant quelques heures sur les bâtiments de guerre, mais il n'en est pas moins vrai qu'un système qui permettrait, sans apporter de gêne sensible au service de la chauffe, de pousser la combustion jusqu'à 120 ou 130 kilogrammes par mètre carré de grille, procurerait une économie notable. Des résultats sérieux ont déjà été obtenus en Angleterre, en soufflant dans les cendriers, ainsi que le constate une note de de M. N. Parker, ingénieur en chef du Lloyd ; la Compagnie Florio Rubatino de Gênes a adopté ce même système pour la plupart de ses paquebots, et la Compagnie Transatlantique vient de l'appliquer à ses navires les plus récents. Nous pensons que ces tentatives méritent d'être suivies avec une sérieuse attention.

MACHINE DE L'*EUGÈNE PÉREIRE* DE LA COMPAGNIE GÉNÉRALE TRANSATLANTIQUE

(Planches 123 à 128)

Ce navire, en service depuis trois ans, a donné des résultats économiques remarquables, c'est pour cela que nous signalons ici sa machine prise dans le nombre des divers et magnifiques spécimens de construction mécanique navale de la Compagnie Transatlantique et qui sortent de ses ateliers de Penhoët et de Saint-Nazaire.

La consommation brute de la machine de l'*Eugène Péreire* ne dépasse pas 900 grammes par cheval et par heure, chauffage, éclairage électrique, etc., compris ce qui est un très beau résultat de service courant.

Les dimensions principales de cette machine sont :

H. P.	$0^m,800$
M. P.	$1^m,240$
B. P.	$2^m,000$

Course commune $1^m.240$.

Nombre de tours de la machine en service, 85 tours.

Surface tubulaire des condenseurs	715^{m2}.
Une pompe à air à simple effet.	
Diamètre	900 mm.
Course	620
Une pompe alimentaire à double effet.	
Diamètre	$0^m,160$
Course	0 ,620
Une pompe de cale à double effet.	
Diamètre	0 ,180
Course	0 ,620

MACHINE DE LA *TOURAINE* DE LA COMPAGNIE GÉNÉRALE TRANSATLANTIQUE

(Planches 129-130)

La *Touraine*, actuellement en construction, dépassera encore en dimension et en vitesse les quatre magnifiques paquebots : *Normandie*, *Gascogne*, *Bourgogne* et *Champagne*. La longueur est de $163^m,65$.

Au lieu d'un arbre unique comme l'ont ces derniers, elle aura deux hélices actionnées par deux machines de 6250 chevaux chacune et dont les plans, que nous devons à M. Daymard, ingénieur en chef de la Compagnie Transatlantique, sont joints à cette note.

Chacune des machines est à triple expansion et a les données suivantes ;

H. P.	1m040
M. P.	1.540
B. P.	2.540

Course commune	1.660
Nombre des tours en service	70 tours
Surface tubulaire des condenseurs	990m².

Une Pompe à air à simple effet.

Diamètre	0.945
Course	0.650

Une pompe alimentaire à double effet.

Diamètre	0.170
Course	0.650

Une pompe de cale à double effet.

Diamètre	0.200
Course	0.650

Les trois cylindres sont côte à côte et à enveloppe de vapeur avec fourreau rapporté. Les pistons coniques permettent de rentrer le presse-étoupe de façon à diminuer la hauteur du bâti. Les cylindres sont fixés sur un plancher intermédiaire qui assure une stabilité considérable à l'ensemble de l'appareil.

Une particuliarité à noter:

Les condenseurs, contenant 5000 tubes chacun, sont en acier moulé.

La chaudière, timbrée à 10 kil. 500, est probablement un des derniers appareils à grand diamètre : la chaudière locomotive, chaudière marine de l'avenir permettra seule d'aborder des pressions plus élevées sans exagérer les dimensions des tôles.

Ce magnifique bâtiment qui s'achève sera en mesure de recommencer l'exploit du navire anglais *City of Paris* qui a mis moins de six jours pour aller d'Angleterre en Amérique !

Nous pouvons citer comme exemple des derniers navires en construction la *Teutonie* de la White Star Line qui a 178 mètres de longueur.

Comme la *Touraine*, elle est à deux machines. Chacune d'elles à triple expan sion peut développer 8500 chevaux.

Les trois cylindres ont $1^m,09$, $1^m,73$, $2^m,79$ de diamètre, avec une course de $1^m,52$.

Les chaudières sont timbrées à 12 atmosphères.

III. — BATIMENTS DE GUERRE

La machine à triple expansion s'impose d'une manière absolue pour les bâtiments de guerre, en raison de l'économie de poids qu'elle permet de réaliser sur l'approvisionnement de combustible, économie qui se traduit, toutes choses égales d'ailleurs, par un accroissement équivalent de la protection ou de l'artillerie. Outre cette économie, qui est de beaucoup la plus importante, on doit rechercher dans une juste mesure, celles qui résultent de l'alignement des appareils et de l'application du tirage forcé. Aussi les machines à triple expansion destinées aux bâtiments de guerre, sont-elles étudiées d'après les principes des machines légères, principes dont nous avons fait connaître plus haut les traits généraux.

Les ateliers du Havre construisent, en ce moment, des appareils à triple expansion pour deux cuirassés commandés par le Gouvernement hellénique pl. 131-132) et deux goëlettes à hélice pour le Gouvernement chilien ; à Marseille, on entreprend la construction de trois appareils destinés à deux croiseurs et à un cuirassé, qui font l'objet d'une importante commande du même Gouvernement. Nous signalerons également les appareils des deux garde-côtes construits dans les Forges et Chantiers pour le Gouvernement japonais. Ces appareils sont destinés à marcher à triple expansion aux petites vitesses seulement (jusqu'à 1400 chevaux environ).

Au-delà de cette limite, jusqu'à la puissance maximum de 6000 chevaux, l'appareil fonctionnera en compound avec introduction directe dans les deux premiers cylindres. Cette disposition mixte a pour but de réduire la consommation à 800 grammes par cheval et par heure, pour les allures ordinaires de l'appareil qui ne correspondent qu'à une puissance de 600 chevaux soit 1/10 de la puissance maximum.

L'expérience montrera si cette disposition présente un avantage sur l'emploi de la triple expansion à toutes les allures.

Mais, quel que soit le type adopté, les conditions de la marche à très petite vitesse présentent, pour les navires de guerre, une importance capitale et doivent intervenir dans le choix des dimensions des cylindres. Quand bien même on devrait augmenter quelque peu la consommation à grande vitesse, en adoptant pour cette allure un coefficient de détente un peu faible, il importe de ne pas

admettre des cylindres trop grands pour la marche habituelle. Il arriverait en effet, dans ce cas, que les condensations intérieures provoquées par l'étendue des parois métalliques trop développées, eu égard au poids de vapeur qui traverse les cylindres, entraîneraient une augmentation notable de la consommation à l'allure de route.

Nous admettons que le volume final du cylindre de détente par cheval et par seconde doit être compris entre $0^{m3},004$ et $0^{m3},0027$, et d'autant plus petit qu'on accorde plus d'importance aux allures réduites. Ainsi on se rapprochera du premier nombre pour un paquebot et du second pour un croiseur.

Ainsi dans les appareils destinés aux deux croiseurs de 5 400 chevaux et au cuirassé de 12 000 chevaux commandés par le Gouvernement chilien, le volume final par cheval est de $0^{m3},0028$, ce qui correspond à une ordonnée moyenne rapportée à la surface des grands pistons de 2 k. 63 et à un coefficient de détente de 8 environ. Sans doute, la consommation par cheval à grande vitesse sera supérieure à ce qu'elle eût été, si l'on avait admis un coefficient de détente égal à 12, par exemple ; mais, par contre, lorsque les appareils ne développeront que 1/6 ou 1/8 de leur puissance maximum, ils seront encore dans des conditions économiques bien supérieures à celles d'une machine à cylindres plus grands.

On trouvera dans le tableau III les dimensions principales de ces appareils dont les détails d'exécution sont encore en cours d'étude. Leur poids par cheval ne devra pas dépasser 90 k. 5 dont 48 k. 5 environ pour les chaudières et 42 kilogrammes pour les machines. Ces chiffres sont bien éloignés de ceux que l'on considérait, il y a peu d'années encore, comme des minima nécessaires pour des appareils de cette puissance. Certains constructeurs étrangers ont construit, il est vrai, des appareils plus légers encore (65 k. à 80 k. par cheval), mais ce résultat a été en général obtenu au prix de sacrifices que nous ne saurions admettre, comme par exemple celui des chemises ou enveloppes de vapeur. Cette suppression, de nature à compromettre le régime économique, surtout à l'allure de route, ne peut produire qu'un bénéfice apparent et doit être absolument rejetée.

Nous nous refuserions également à alléger les chaudières, en admettant pour leurs enveloppes des échantillons réduits (en usage à l'Amirauté anglaise) d'où résulte pour la tôle d'acier une charge de 12 kilogrammes environ par millimètre carré à la pression du timbre. En un mot, tout en reconnaissant que le problème de l'allégement des moteurs présente un sérieux intérêt, nous pensons que l'on ne doit à aucun prix compromettre en quoi que ce soit, ni le régime économique à l'allure de route, ni surtout la sécurité du fonctionnement.

A ce dernier point de vue, nous avons déjà signalé l'importance toute particulière des mouvements de tiroir et la nécessité d'en proportionner largement les organes. Dans les machines à triple expansion, l'élévation de la pression du régime a conduit à adopter, principalement pour le premier ou les deux premiers cylindres, les tiroirs cylindriques constitués comme des pistons qui, par leur

Types de machines

	Paquebots *Franche-Comté, Dauphiné, Alsace* Société Transports maritimes)	Paquebots *Tamise, Manche Tigre, Cambodge Guadalquivir Guadiana* (Messager. maritim.)	Paquebots *Dordogne Charente Adour* (Messager. maritim.)	Paque *Bré Le P* (Messager.
Système de la machine	1 machine à triple expansion, à 3 cylindres, à pilon	1 machine à triple expansion, à 3 cylindres, à pilon	1 machine à triple expansion, à 3 cylindres, à pilon	1 mac à triple ex à 3 cyli à pil
Puissance totale prévue en chevaux indiqués	760 chevaux	1450 chevaux	2100 chevaux	5400 ch
Pression de régime	9^k	8^k	10^k	9
Système des chaudières	cylindrique a 2 foyers, tubes à retour de flammes 2 corps	cylindrique double ended, à 4 foyers 2 corps	cylindrique double ended, à 4 foyers 2 corps	cylind double à 4 fo 6 co
Surface de grille	$8^{m2},080$	$13^{m2},68$	$17^{m2},200$	44^{m}
Surface de chauffe	$181^{m2},56$	$332^{m2},00$	$520^{m2},00$	1214
Diamètre des cylindres — petit	$0^m,490$	$0^m,640$	$0^m,700$	$1^m,$
Diamètre des cylindres — moyen	$0^m,780$	$0^m,940$	$1^m,120$	$1^m,$
Diamètre des cylindres — grand	$1^m,250$	1,400	$1^m,780$	$2^m,$
Rapport des surfaces du petit piston au moyen	2,533	2,15	2,559	1,
d° du petit au grand	6,507	4,78	6,466	5,
Course des pistons	$0^m,900$	1,10	$1^m,200$	1,
Nombre de tours maximum prévu	88	82	76	8
Vitesse des pistons	$2^m,640$	$3^m,00$	$3^m,040$	$3^m,$
Coefficient de détente	10,66	7,3	10,43	6,8
Volume final par cheval et par seconde	$4^{lit},262$	$3^{lit},18$	$3^{lit},602$	$3^{lit},$
Nombre et système des pompes à air	1 verticale à simple effet, mue par balancier	1 verticale à simple effet, mue par balancier	1 verticale à simple effet, mue par balancier	2 vertical effet, m balan
Nombre et système des pompes de circulation	1 verticale à double effet, mue par balancier	1 pompe centrifuge mue par moteur spécial	1 pompe centrifuge	2 pompes
Surface de condensation totale	$129^{m2},4$	$200^{m2},64$	$352^{m2},17$	93
d° par cheval	$0^{m2},170$	$0^{m2},138$	$0^{m2},1677$	0^{m}
Puissance réalisée à l'essai de vitesse	801 chevaux	»	2145 chevaux	
d° de consommation	644 chev. 3	1068 chevaux	1555 »	
Consommation par cheval et par heure — Vitesse	»	»	$0^k,875$	
Consommation par cheval et par heure — Consommation	$0^k,742$	$0^k,749$	0,608	
Consommation par heure et par mètre carré de grille — Vitesse	»	»	109^k	
Consommation par heure et par mètre carré de grille — Consommation	$59^k,20$	$58^k,48$	55^k	
Poids — Machines	74330^k — p. chev. $92^k,8$	150194 — p. chev. $103^k,5$	219676^k — p. chev. $104^k,6$	590400^k
Poids — Chaudières	53820 — 67 ,1	97268 — 67, »	133685 — 63 ,6	346250
Poids — Eau	21700 — 27 ,1	33872 — 23 ,3	45500 — 21 ,6	122000
Poids — Total	$187^k,0$	$193^k,8$	$189^k,8$	

I

nstruction récente.

quebot *tralien* ilt dans les aliers a Ciotat ar. maritim.)	Garde-Côtes *Itsukushima* et *Matsushima* (Japon)		Croiseurs *chiliens*	Cuirassé *chilien*	Goëlettes *chiliennes*	Cuiras *grec*
achine expansion, ylindres, pilon	2 machines à 3 cylindres, horizontales inclinés de 6°,30 sur l'axe fonctionnant à triple expansion	fonctionnant en compound	2 machines à triple expansion, à 3 cylindres chacune, horizontales, inclinées de 5° sur l'axe	2 machines à triple expansion, à 3 cylind. chacune. à pilon	1 machine à triple expansion à 3 cylindres à pilon	2 mach à triple ex à 3 cylin inclin
chevaux	1400 chevaux	6000 chevaux	5400 chevaux	12000 chevaux	250 chevaux	6780 che
2^k	12^k	»	$11^k,25$	10^k	10^k	10^k
stème leville corps	cylindrique à 3 foyers, à flamme directe 6 corps	»	cylindrique, à trois foyers, à flammes directes, avec tubes dans le prolongem. 4 corps	cylindrique, double ended, à 6 foyers, tubes à retour de flammes 5 corps	cylindrique à 2 foyers, à retour de flammes 1 corps	cylindri double e 4 cor
^{m2},34	$36^{m2},00$	»	$27^{m2},20$	64^{m2}	$2^{m2},80$	$37^{m2},1$
$3^{m2},00$	$1257^{m2},82$	»	1200^{m2}	2075^{m2}	$68^{m2},50$	1240^{m}
,120	$0^m,390$	»	$0^m,680$	$1^m,010$	$0^m,31$	0,77
,700	$0^m,620$	»	$1^m,010$	$1^m,470$	$0^m,45$	1,14
,700	$1^m,440$	»	$1^m,520$	$2^m,260$	$0^m,68$	1,8
,303	2,527	»	2,206	2,118	2,107	2,1
,811	13,635	$\frac{S_{11}}{S+S_1}$ 3,865	4,996	5,007	4,81	5,4
,350	$1^m,000$	»	$0^m,800$	$1^m,050$	$0^{m}1450$	$1^m,2$
81	72	111	150	120	130	99
,640	$2^m,400$	$3^m,700$	$4^m,000$	$4^m,200$	$1^m,95$	$4^m,12$
673	20,35	5,769	7,686	7,472	7,4	9,1
,162	$5^{lit},584$	$2^{lit},008$	$2^{lit},688$	$2^{lit},808$	$2^{lit},83$	$3^{lit},0$
es à simple ues par nciers	2 verticales à simple effet, mues par machines spéciales	»	2 pour l'appareil complet verticales à simple effet. mues par 2 machin. spéciales	4 verticales à simple effet, mues par 2 machines spéciales	1 verticale à simple effet, mue par balancier	4 verticales, effet, mues p teurs com auxiliai
entrifuges	1 pompe centrifuge par machine	»	1 pompe centrifuge par machine	1 pompe centrifuge par machine	1 pompe centrifuge mue par moteur spécial	2 pompes cen mues par les des pompe
^{m2},00	864^{m2}	»	$337^{m2},50$ p. mach.	750^{m2} p. machine	$38^{m2},64$	933^{m2},
1674	$0^{m2},617$	$0^{m2},144$	$0^{m2},125$	$0^{m2},125$	$0^{m2},154$	0^{m2},

hine ours truction	Machines en cours de construction										
p. chev.	»		p. chev.		p. chev.		p. chev.		p. chev.		p
^{k} $107^k,57$	»	265000^k	$44^k,17$	224700^k	$41^k,6$	548000^k	$45^k,67$	11100^k	$44^k,4$	375000^k	
48 ,48	»	275000	45 ,83	188000	34 ,8	376900	31 ,41	20900	83 ,6	265000	
3 ,33	»	99000	16 ,50	76000	14 ,1	161100	13 ,42	7200	28 ,8	75000	
$159^k,38$	»		$106^k,5$		$90^k,5$		$90^k,50$		$156^k,8$		

forme même, sont équilibrés et soustraits à la très forte pression que la vapeur exerçait sur le dos de tiroirs plats. Cette disposition réduit à peu de chose le frottement qui s'oppose à la marche du tiroir, mais les efforts dûs à l'inertie de la masse en mouvement n'en sont pas moins très considérables aux allures rapides, et par leur changement de sens incessant de nature à provoquer des irrégularités sérieuses dans le cas où le mécanisme de conduite présenterait la moindre partie faible ou un jeu anormal si faible qu'il fût.

Nous allons passer en revue divers types de machines de la même classe construites par le Creusot.

« *ALGER* » APPAREIL A DEUX HÉLICES DE 8000 CHEVAUX-INDIQUÉS

(Planches 131-132)

L'appareil moteur se compose de deux machines principales égales et symétriques conduisant chacune une hélice. Elles sont du système vertical à pilon, bielles directes, à trois cylindres et à triple expansion.

Les dimensions principales des cylindres sont les suivantes :

Diamètre du cylindre à haute pression	0m,860
» à moyenne pression	1 ,360
» à basse pression	2 ,060
Course commune des pistons	0 ,850

La distribution de la vapeur dans le cylindre à haute pression se fait au moyen d'un tiroir cylindrique; celle du cylindre à moyenne pression, au moyen d'un tiroir plan à double orifice; et celle du cylindre à basse pression, par deux tiroirs plans à double orifice également. Tous ces tiroirs sont conduits par des coulisses Stéphenson. Pour chaque cylindre l'introduction est variable en marche à volonté.

La vapeur admise dans le cylindre à haute pression passe successivement dans les cylindres à moyenne et à basse pression d'où elle est évacuée au condenseur. Les condenseurs sont du système tubulaire horizontal ; la circulation de l'eau réfrigérante se fait dans chacun d'eux à l'intérieur des tubes, au moyen de deux pompes centrifuges actionnées par des moteurs spéciaux.

Le même moteur actionne également deux pompes à air verticales destinées à faire le vide dans le condenseur.

Les pompes alimentaires du système Belleville et les pompes de cale ont également des moteurs indépendants.

L'appareil évaporatoire comprend 24 générateurs du système Belleville répartis dans 8 chambres de chauffe avec 2 cheminées.

Les éléments principaux sont les suivants :

Surface totale de la grille	70m²
» de chauffe.	2068m²
Timbre.	17 k.

La pression de la vapeur aux machines est réglée par un appareil détendeur qui la maintient uniforme entre 11 et 4 kilogrammes selon les conditions de puissance à réaliser.

Le tirage forcé est obtenu par un système de jets de vapeur dans les cheminées permettant de consommer jusqu'à 170 kilogrammes de charbon par mètre carré de grille et par heure.

La recette de l'appareil comporte 5 essais dont le principal est :

Un essai à tirage naturel d'une durée de 12 heures avec 24 chaudières et l'obligation de réaliser une puissance de 8000 chevaux ; la consommation ne devra dépasser 1 kilogramme de charbon par cheval et par heure ; elle sera mesurée pendant 6 heures seulement.

« *WATTIGNIES* » APPAREIL A DEUX HÉLICES DE 4000 CHEVAUX-INDIQUÉS, CONSTRUIT PAR LE CREUSOT

(Planche 133)

L'appareil moteur se compose de deux machines principales semblables, conduisant chacune une hélice. Elles sont du système horizontal, à bielles directes, à trois cylindres et à triple expansion.

Les dimensions principales des cylindres sont les suivantes :

Diamètre du cylindre à haute pression	0m,600
» à basse pression	1 ,440
» à moyenne pression	0 ,900
Course commune des pistons	0 ,900

La distribution de la vapeur se fait dans chacun des cylindres à haute et à moyenne pression par un tiroir cylindrique et dans le cylindre à basse pression par deux tiroirs également cylindriques. Tous ces tiroirs placés à la partie supérieure des cylindres sont manœuvrés par le dispositif spécial de M. Marshal.

La vapeur admise dans le cylindre à haute pression passe successivement dans les cylindres à moyenne et à basse pression d'où elle est évacuée aux condenseurs. Les condenseurs sont du système tubulaire horizontal ; la circulation de l'eau réfrigérante se fait dans chacun d'eux à l'intérieur des tubes au moyen d'une pompe centrifuge actionnée par un moteur spécial.

Chaque condenseur est pourvu de deux pompes à air horizontales à double effet, mues par un moteur indépendant.

La pompe alimentaire et les pompes de cale ont également des moteurs spéciaux.

L'appareil évaporatoire comprend quatre corps de chaudières cylindriques à deux foyers du type à flammes directes (dit de l'amirauté) avec tubes dans le prolongement des foyers et chambre de combustion intermédiaire.

Les éléments principaux sont les suivants :

Surface totale de la grille	18^{m2}
» de chauffe	836,36
Timbre	$11^{k},25$

Le tirage forcé est obtenu par des ventilateurs placés dans les chambres de chauffe et soufflant en vase clos.

« *FORMIDABLE* » APPAREIL A DEUX HÉLICES DE 8500 CHEVAUX-INDIQUÉS, CONSTRUIT PAR LE CREUSOT

(Planches 134 à 137)

L'appareil moteur se compose de deux machines principales égales et symétriques conduisant chacune une hélice. Elles sont du système vertical, à pilon compound, à bielles directes, à trois cylindres, dont un cylindre d'admission et deux cylindres de détente, ayant les dimensions suivantes :

Diamètre du cylindre d'admission	$1^{m},570$
Diamètre de chaque cylindre de détente.	$2^{m},020$
Course commune des pistons.	$1^{m},000$

La distribution de la vapeur dans les cylindres d'admission et de détente de chaque machine principale est faite par des tiroirs cylindriques manœuvrés par des coulisses Stéphenson. La boîte à vapeur du cylindre d'admission est en outre munie d'un tiroir de détente spécial pour les faibles introductions. Dans une certaine limite, l'introduction dans tous les cylindres est en outre variable au moyen d'un dispositif spécial permettant de changer le point de suspension de chaque coulisse indépendamment des autres.

La vapeur, introduite d'abord dans les cylindres d'admission de chaque machine principale, passe alternativement dans chacun des cylindres de détente de la même machine d'où elle est évacuée aux condenseurs correspondants. Les condenseurs sont du système tubulaire vertical avec la vapeur passant à l'intérieur des tubes ; la circulation de l'eau réfrigérante se fait pour chacun d'eux au moyen d'une pompe centrifuge actionnée par un moteur spécial.

Les deux condenseurs d'une même machine sont pourvus d'une seule pompe

à air verticale, manœuvrée au moyen de balanciers par le piston du cylindre d'admission.

Les pompes alimentaires sont actionnées par le même mouvement ; les pompes de cale sont attelées sur les machines principales.

L'appareil évaporatoire se compose de 12 corps de chaudières de section méplate, à retour de flammes et à trois foyers chacun, timbrés à $4^k,25$ par centimètre carré. Les éléments principaux sont les suivants :

Surface de grille totale.	78^{m2}
Surface de chauffe totale	1628

Pour le fonctionnement du tirage forcé, l'installation comprend 4 ventilateurs soufflant en vase clos dans les chambres de chauffe, et des jets de vapeur dans les cheminées.

« *LAPÉROUSE, NIELLY, MONGE* » APPAREIL A DEUX HÉLICES DE 2700 CHEVAUX-INDIQUÉS, CONSTRUIT PAR LE CREUSOT

(Planches 138-139)

L'appareil moteur se compose d'une machine principale conduisant l'hélice. Elle est du système horizontal compound à bielles renversées, à trois cylindres, dont un cylindre d'admission et deux cylindres de détente, ayant les dimensions suivantes :

Diamètre du cylindre d'admission	$1^m,380$
Diamètre de chaque cylindre de détente.	$1^m,700$
Course commune des pistons.	$0^m,850$

La distribution de la vapeur dans le cylindre d'admission est faite par deux tiroirs plans à simple orifice, placés latéralement de chaque côté du cylindre ; ces tiroirs sont manœuvrés simultanément par des coulisses Stéphenson. Chaque boîte à vapeur du cylindre d'admission est en outre munie d'un tiroir spécial de détente permettant de faire varier l'introduction en marche et à volonté.

Dans chaque cylindre de détente, la distribution de la vapeur est faite par un tiroir plan à double orifice placé latéralement et conduit par une coulisse Stéphenson.

La vapeur admise dans le cylindre d'admission passe alternativement dans chacun des deux cylindres de détente d'où elle est évacuée au condenseur correspondant. Les condenseurs sont du système tubulaire horizontal, la circulation de l'eau réfrigérante se fait à l'intérieur des tubes au moyen d'une pompe centrifuge actionnée par un moteur spécial.

	Torpilleur de 27m	Torpilleurs *ottomans*	Torpille *Ghelendj* (Russie
Système de la machine	1 machine compound à 3 cylindres à pilon	1 machine compound à 2 cylindres à pilon	1 machine co à 2 cylind à pilo
Puissance totale prévue en chevaux indiqués	320 chevaux	450 chevaux	550 chev
Pression de régime	$8^k,43$	$8^k,5$	$8^k,75$
Système des chaudières	Système locomotive 1 corps	Système locomotive 1 corps	Système loco 1 cor
Surface de grille	$1^{m2},956$	$1^{m2},68$	$1^{m2},9$
Surface de chauffe	$58^{m2},30$	$82^{m2},57$	$99^{m2},8$
Diamètre des cylindres — petit	$0^m,350$ 1 cylindre	0,360	$0^m,39$
Diamètre des cylindres — moyen	»	»	»
Diamètre des cylindres — grand	$0^m,420$ 2 cylindres	0,640	$0^m,64$
Rapport de la surface du petit piston au moyen	»	»	»
d° au grand	2,88	3,16	2,693
Course des pistons	$0^m,350$	$0^m,360$	$0^m,36$
Nombre de tours maximum prévu	320	310	310
Vitesse des pistons	$3^m,733$	$3^m,72$	$3^m,72$
Coefficient de détente	4,3	4,78	4
Volume final par cheval et par seconde	$3^{lit},232$	$2^{lit},66$	$2^{lit},17$
Nombre et système des pompes à air	1 inclinée à simple effet, mue directement par le patin de la tige de piston	1 verticale à simple effet, mue par balancier	1 verticale à effet, mue par bal
Nombre et système des pompes de circulation	1 pompe centrifuge	1 pompe centrifuge	1 pompe cent
Surface de condensation totale	$60^{m2},20$	$71^{m2},87$	$75^{m2},0$
d° par cheval	$0^{m2},188$	$0^{m2},1597$	$0^{m2},19$
Puissance réalisée à l'essai de vitesse	428 chevaux	451 chev. 7	583 chev
d° d° de consommation	»	227 chev. 6	103 chev
Consommation par cheval et par heure — Vitesse	»	»	$1^k,292$
Consommat. par heure et par mètre carré de grille — Vitesse	»	»	$394^k,7$
Consommat. par heure et par mètre carré de grille — Consommat.	«	»	$59^k,2$
Poids — Machines	7260^k	p. cheval $16^k,96$	7460^k	p. cheval $16^k,5$	8370^k	p. 1
Poids — Chaudières	6600	15, 42	7210	15 ,9	9510	1
Poids — Eau	1630	3 ,80	3000	6 ,6	3900	(
Poids — Total		$36^k,18$		$39^k,0$		3

›rpilleur de 35m		Torpilleurs-Avisos *Bombe* *Couleuvrine* etc.		Torpilleurs *Naluca, Smeul, Shorul* (Roumanie)		Torpilleur de haute mer *Audacieux* *Agile*		Canots Vedettes	
ne compound cylindres à pilon		2 machines compound à 3 cylindres à pilon		1 machine à triple expansion, à 3 cylindres à pilon		1 machine à triple expansion, à 3 cylindres à pilon		1 machine compound à 3 cylindres à pilon	
chevaux		1800 chevaux		540 chevaux		1100 chevaux		80 chevaux	
9k,33		8k,50		11k,00		12k		8k,33	
e locomotive corps		Système locomotive 4 corps		Système locomotive 1 corps		Système locomotive 2 corps		Système locomotive 1 corps	
2m²,30		7m²,20		1m²,90		3m²,816		0m²,47	
4m²,23		337m²,16		88m²,209		157m²,54		12m²,75	
)m,370		0m,480		0m,310		0m,440		0m,170	
»		»		0m,450		0m,640		»	
)m,640		0m,560 2 cylindres		0,680		1m,000		0m,270	
»		»		2,107		2,116		»	
2.991		2,72		4,81		5.165		2,522	
)m,360		0m,400		0m,380		0m,420		0m,200	
330		320		320		300		470	
3m.960		4m,266		4m,053		4m,200		3m,133	
4,5		4,00		7,4		7,915		3,750	
2lit,426		2lit,33		2lit,725		3lit, »		2lit,243	
cale à simple effet, ar balancier		2 verticales à simple effet, mues par un moteur spécial		1 verticale à simple effet, mue par balancier		1 verticale à simple effet, mue par balancier		1 verticale, à simple effet, mue par balancier	
pe centrifuge		1 centrifuge, mue par moteur spécial		1 centrifuge, mue par moteur spécial		1 pompe centrifuge		1 pompe centrifuge	
3m²,0324		316m²,33		68m²03		121m²,05		9m²,676	
)m²,129		0m²,175		0m²,125		0m²,1004		0m²,1209	
. chevaux		2000 chevaux		»		»		«	
»		»		265 chevaux		»		»	
1k,250		»		»		»		»	
»		»		0k,710		»		»	
286k,955		350k		256k,5		»		»	
»		»		98k,68		»		»	
	p. cheval		p. cheval		p. cheval		p. cheval		p. cheval
0k	16k,46	26 659k	14k,8	8 824k	16k,3	16 640k	15k,13	1 480k	18k,5
0	13 ,98	29 538	16 ,4	9 216	17 ,0	15 050	13k,68	1 045	13 ,1
0	6 ,30	11 760	6 ,5	2 930	5 ,4	6 400	5 ,82	400	5 ,0
	36k,74		37k,7		38k,7		34k,63		36k,6

Chaque condenseur est pourvu d'une pompe à air horizontale manœuvrée directement par le piston du cylindre de détente correspondant.

Les pompes alimentaires et la pompe de cale sont également conduites par la machine principale.

L'appareil évaporatoire comprend huit corps de chaudières cylindriques à retour de flammes et à deux foyers chacun, timbrés à $4^k,133$ par centimètre carré. Les éléments principaux sont les suivants :

Surface totale de la grille.	$26^{m2},40$
Surface totale de chauffe	618 ,54

Il est muni d'un système de tirage forcé (système Creusot) par jet de vapeur dans la cheminée permettant de pousser la combustion sur les grilles jusqu'à 150 kilogrammes par mètre carré.

La recette de l'appareil comportait pour chaque navire trois essais : le premier à tirage naturel, d'une durée de 8 heures, devait produire une puissance moyenne d'au moins 2160 chevaux de 75 kilogrammètres ; le deuxième, d'une durée de 6 heures, à tirage naturel avec la même puissance et une consommation ne dépassant pas 1 kilogramme par cheval et par heure; le troisième d'une durée de 2 heures devait produire 2700 chevaux au moins avec le tirage forcé par jet de vapeur.

Les résultats obtenus ont été les suivants devant la commission des recettes de la marine.

	LAPÉROUSE	NIELLY	MONGE
Essai de tirage naturel — 8 heures — Puissance	2268 chev.	2173 chev.	2263 chev.
Essai de tirage naturel — 6 heures — Consommation	$0^k,979$	$0^k,943$	$0^k,918$
Essai de tirage forcé — 2 heures — Puissance	3093 chev.	2922 chev.	2922 chev.

Nous joignons à cette note les dessins de machines à triple expansion des *Garde-côtes* japonais à deux hélices de 6000 chevaux (pl. 140), des torpilleurs de haute mer *Audacieux* et *Agile* (1100 chevaux) (pl. 141-142) et des torpilleurs *Roumains* de 500 chevaux (pl. 143-144) dont les dimensions sont figurées dans les tableaux des navires construits par les Forges et Chantiers de la Méditerranée qui tiennent si haut le drapeau de notre industrie nationale et auxquels l'étranger doit un si grand nombre de navires de toutes catégories;

nous citerons en particulier le cuirassé espagnol *Pelayo* construit et armé de l'artillerie Canet en trois années!

Grâce aux renseignements qu'ont bien voulu nous fournir les Forges et Chantiers de la Méditerranée, le Creusot, la Compagnie Transatlantique etc., cette note contient la description des machines types construites depuis 1878 et peut, à ce titre, servir de guide dans l'étude si complexe de la construction des machines marines.

En terminant ce travail d'ensemble, nous adressons donc nos remerciements personnels à tous ceux qui, dans un but de confraternité scientifique, ont bien voulu nous aider dans la tâche dont nous avait chargé le comité du Congrès de mécanique, et nous devons aussi les remercier pour ceux auxquels ce travail pourra être utile.

NOTE

SUR DIVERS

MOYENS D'ECONOMISER LA VAPEUR

dans les machines à un cylindre

PAR

M. DWELSHAUVERS-DERY

PROFESSEUR A L'UNIVERSITÉ DE LIÈGE

Dans des expériences faites avec beaucoup de soin, un de mes amis, M. Bryan Donkin, avait recherché quelle économie on pouvait attendre d'une enveloppe à flammes de gaz appliquée à une machine à cylindre unique et fonctionnant tantôt avec, tantôt sans condensation. Il m'avait communiqué les résultats de ses recherches, dont un surtout m'a frappé : dans un des essais sans condensation la vapeur avait été surchauffée pendant toute l'admission et pendant toute la détente. Je ne connaissais qu'un seul cas semblable, c'est le huitième de la série des essais faits en 1873 et 1875, à Logelbach, sous la direction de M. Hirn, et dont le rapport a été fait par O. Hallauer en 1876, dans les *bulletins de la Société Industrielle de Mulhouse.* Dans ce cas encore il n'y avait pas de condensation, mais la vapeur avait été amenée surchauffée d'environ 70° dans le cylindre. Tout d'abord je me suis contenté d'étudier et de comparer par ma méthode ces résultats de l'expérience. Ensuite j'ai poussé plus loin mes recherches ; je me suis posé cette question : est-ce que l'échange continuel et inéluctable de chaleur entre la vapeur et les parois internes du cylindre, n'aurait pas pour conséquence d'imposer un maximum à l'économie que peut procurer le réchauffement de la vapeur en travail, par un moyen quelconque ? Nettement posée cette question semble recevoir immédiatement sa solution. En effet, toute quantité de chaleur fournie à la vapeur pendant qu'elle travaille, diminue l'action pernicieuse des parois ; c'est un premier effet, mais il y en a un second : la vapeur est aussi

mieux fournie de calories au moment où elle va quitter sans retour le cylindre, et la perte due à l'abandon de la vapeur en est augmentée. Le travail extérieur ne profite donc pas seul des calories supplémentaires fournies à la vapeur dans le cylindre ; plus on en fournit, plus il en va au condenseur ; il est donc à supposer qu'il y a une situation qui donne lieu à un maximum d'économie. L'expérience devait dire quelle est cette situation ; et des études que nous avons faites à ce sujet, nous croyons pouvoir déduire cette propriété que nous voudrions ériger en principe :

Le maximum d'économie est obtenu lorsque la vapeur, à la fin de la détente ou au commencement de l'émission, est sèche et saturée ou légèrement surchauffée. Dans ce cas l'action manifestement malfaisante des parois pendant l'échappement est réduite à un minimum.

Si ce principe est admis le problème des enveloppes peut être posé dans les termes suivants, et expérimentalement résolu :

A. *Quelle est la température à entretenir dans l'enveloppe pour obtenir la siccité de la vapeur au moment de l'échappement ?*

B. *Quelle est la substance (vapeur, flammes de gaz, etc.) qui donne cette température de la manière la plus convenable et la plus économique ?*

Le problème de la surchauffe est plus simple et est borné à la recherche de *la température de la surchauffe* qui donne le résultat susdit.

Préalablement il faut démontrer que la chaleur additionnelle fournie par l'un de ces moyens, peut amener la siccité de la vapeur au commencement de l'échappement, même quand il y a condensation, c'est-à-dire lorsque le refroidissement du métal pendant l'échappement a été très considérable. Si nous en doutons, c'est que, ni dans les expériences de M. Hirn, avec vapeur surchauffée, ni dans celles de M. Donkin avec flammes de gaz, la vapeur ne s'est jamais trouvée sèche au commencement de l'échappement quand il y avait condensation ; et nous n'en avons qu'un seul exemple dans chaque série quand il n'y avait pas de condensation.

Les expériences de M. Willans, qui ont paru dans les *selected papers de l'Institution des Ingénieurs civils de Londres*, ont démontré que les grandes vitesses de marche constituent un moyen d'économiser la chaleur. Nous avons appliqué notre méthode à la recherche du procédé naturel par lequel cet effet est obtenu et, nous avons vu que le comment du phénomène ne diffère guère de celui des autres moyens et que c'est encore sur l'échange de chaleur entre la vapeur et le métal que la vitesse influe.

Il convient, ce nous semble, d'exposer ici à grands traits notre méthode et ses applications aux essais d'enveloppe à flammes de gaz de M. Donkin ; de vapeur surchauffée de M. Hirn, et de vitesses de M. Willans.

Ce que j'appelle ma méthode n'est en somme que la mise en équation et en diagrammes de *la théorie pratique de M. Hirn.* Elle repose sur deux faits :

Lorsque la machine marche en régime, au bout de chaque période le métal du cylindre se retrouve à la même température qu'au commencement, et la vapeur aussi dans le même état qu'au commencement. En d'autres termes les cycles des opérations thermiques subies par la vapeur et par le métal, sont tous deux fermés. D'où résulte que les quantités de chaleur perdues et gagnées par la vapeur en un tour sont égales, et qu'il en est de même de celles que le métal a gagnées et rendues.

Pendant la détente et la compression, opérations où le poids de fluide en jeu dans le cylindre est constant, la vapeur perd ou gagne de la chaleur pour deux raisons: parce qu'elle fait le travail extérieur et parce qu'elle échange des calories avec le métal pour l'amener à sa propre température.

Si donc on considère soit l'entièreté, soit une partie définie de la période de détente ou de celle de compression, on peut conclure que la différence entre les chaleurs internes de la vapeur au commencement et à la fin de la phase donnée est égale à la somme des chaleurs abandonnées par la vapeur pour faire le travail extérieur et pour changer la température du métal. Un essai de machine fournit les données nécessaires au calcul de trois de ces quatre quantités, les chaleurs internes de la vapeur au commencement et à la fin de la phase considérée, et le travail extérieur ; une équation dont nous venons de donner la signification permet ensuite de calculer la quatrième, l'échange de chaleur entre le métal et la vapeur. échange *positif* quand il s'établit de la vapeur au métal, et *négatif* quand c'est le métal qui fournit des calories à la vapeur.

Dans ce qui suit, il est inutile de considérer d'autres phases que l'entièreté de la détente et de la compression et nous emploierons les notations suivantes :

U_0, U_1, U_2, U_3, les chaleurs internes de la vapeur respectivement au commencement et à la fin de la détente, au commencement et à la fin de la compression.

T_d, T_c, le travail extérieur effectué respectivement pendant la détente et pendant la compression, exprimé en calories et sans que le signe soit explicite.

R_d, R_c, en calories, la quantité de chaleur cédée par la vapeur au métal pendant la phase de détente et celle de compression respectivement.

On a donc les deux équations :

$$U_0 - U_1 = T_d + R_d, \quad \text{pour la détente} \qquad (1)$$

$$U_2 - U_3 = - T_c + R_c, \quad \text{pour la compression} \qquad (2)$$

qui permettent de calculer R_d et R_c, les autres quantités étant données par l'essai.

Les phases d'admission et d'échappement ne peuvent pas être traitées partiel-

lement, parce que l'expérience ne peut par aucun moyen faire connaître le poids de fluide présent dans le cylindre excepté au commencement ou à la fin. Pour la période entière d'admission, on peut dire qu'une équation analogue aux deux précédentes doit être établie, en ayant soin d'ajouter au premier membre la chaleur Q que la vapeur convoie avec sa propre substance dans le cylindre. Pour la période d'émission, il faudra en soustraire la chaleur que la vapeur emporte hors du cylindre et rejette soit au condenseur, soit dans l'atmosphère. Cette chaleur rejetée, dans le cas de la condensation, nous la divisons en deux parties, celle que l'eau froide a reçue C, et celle c que la vapeur condensée conserve en vertu de sa température au dessus du zéro Celsius. Les deux équations suivantes complètent les précédentes :

$$Q + U_3 - U_o = T_a + R_a, \qquad \text{pour l'admission} \qquad (3)$$

$$U_1 - U_2 - (C + c) = -(T_c + R_c). \qquad \text{pour l'émission} \qquad (4)$$

La signification de T_a, R_a, T_c, R_c, se comprend d'après ce qui précède ; seulement nous avons, pour l'émission, donné tout d'un coup au travail T_c, comme pour la compression, et à l'échange de chaleur R_c les signes qui leur conviennent.

Les deux notations suivantes nous seront aussi utiles.

Nous appelons T_f le travail définitif fait par la vapeur pendant son séjour dans le cylindre, depuis le commencement de la compression jusqu'à la fin de la détente ; donc

$$T_f = -T_c + T_a + T_d. \qquad (A)$$

De même nous appelons R_f la chaleur définitivement fournie par la vapeur au métal, durant son séjour dans le cylindre,

$$R_f = R_c + R_a + R_d. \qquad (B)$$

Le travail extérieur définitivement obtenu, nous l'appellerons T ; il vaut

$$T_f - T_e \text{ ou } -T_c + T_a + T_d - T_e ;$$

donc

$$T = T_f - T_e = -T_c + T_a + T_d - T_e. \qquad (C)$$

Les conditions prérappelées du régime, nous permettent d'écrire encore deux équations exprimant que la somme des quantités de chaleur reçues et rendues en une période entière par le métal d'une part, et par la vapeur de l'autre, est égale à zéro. Soit Q' la chaleur que l'enveloppe fournit pendant la période à travers le métal tant à la vapeur dans le cylindre qu'à l'air ambiant ; et soit E cette der-

nière partie ; alors ce que la paroi interne du cylindre a reçu et fourni ensuite à la vapeur, c'est (Q' — E) ; le métal a de plus reçu R_f et rejeté R_e. Il s'en suit que l'on a :

$$R_f + Q' - E - R_e = 0, \text{ pour le métal ;} \qquad (5)$$

et de même pour la vapeur, l'équation suivante existe :

$$Q + (Q' - E) - T - (C + c) = 0, \text{ pour la vapeur.} \qquad (6)$$

Ces six équations ne peuvent pas fournir les valeurs de plus de quatre inconnues parce que la 5e se déduit des 4 premières par une simple addition, et que la 6e, établie entre toutes quantités fournies par l'expérience, ne peut servir qu'au contrôle des opérations.

Dans les quatre premières équations il est une quantité que l'expérience ne donne pas directement, c'est U_2 parce que l'on ne connaît pas le *titre* de la vapeur restant dans le cylindre au moment où commence la compression. M. Hirn a démontré clairement, malgré la contradiction de M. Zeuner, que, dans les expériences de Logelbach, on devait considérer la vapeur comme sèche et saturée au commencement de la compression. Il n'y a pas lieu à d'autres conclusions pour les autres essais dont il est ici question. Au moyen de l'instrument appelé *révélateur d'échange*, M. Donkin son inventeur, a démontré expérimentalement la chose. Nous tiendrons donc le fait pour acquis, et considérerons les quatre premières équations comme suffisantes pour faire connaître les valeurs des quatre inconnues R_a, R_d, R_c, R_c.

Cela étant, connaissant T_a, T_d, T_c, T_c, ainsi que R_a, R_d, R_c, R_c, nous avons cherché un diagramme propre à représenter ces quantités diverses, les unes comme les autres, persuadé que *le diagramme des échanges* de chaleur entre la vapeur et le métal pourrait jeter une vive lumière sur les phénomènes thermiques des machines, autant que le *diagramme des pressions* ou diagramme d'indicateur.

Le point de départ de notre invention du diagramme des échanges est que les travaux T et les échanges R étant *exprimés* dans les mêmes unités, en calories, doivent être *représentés* graphiquement par un même procédé. Or dans les diagrammes d'indicateur, un travail est représenté par la surface d'une figure rectangulaire ou trapézoïdale dont la base représente le volume engendré par le piston durant la phase considérée. Lorsqu'on étudie les diagrammes d'indicateur, généralement on mesure en mètres cubes les abcisses ou volumes engendrés par le piston, et les ordonnées ou pressions en kilogrammes par mètre carré ; alors les surfaces du diagramme représentent des kilogrammètres, qu'on peut traduire en calories en divisant par 425.

De la même façon soit R calories, l'échange connu de chaleur entre deux positions données du piston, entre lesquelles le piston a engendré V mètres cubes ;

que l'on cherche la valeur de $\frac{425\,R}{V} = r$, et r représentera la hauteur d'un rectangle qui, au diagramme, aura V pour base, et dont la surface sera proportionnelle à R.

Soit donc V_a, V_d, V_e, V_c, en mètres cubes, les volumes engendrés par le piston respectivement pendant les périodes d'admission (eu égard à l'avance), de détente, d'émission (eu égard à l'avance), de compression. On aura

$$r_a = \frac{425\,R_a}{V_a}, \qquad r_e = \frac{425\,R_e'}{V_e}$$

$$r_d = \frac{425\,R_d}{V_d}, \qquad r_c = \frac{425\,R_c}{V_c}.$$

Supposons, comme c'est le cas général, que ce soit la vapeur qui ait fourni de la chaleur au métal pendant l'admission et la compression ; et le métal à la vapeur pendant la détente et l'émission. Dès lors, pour la course directe, r_a est positif et r_d est négatif ; et pour la course rétrograde, r_e est négatif et r_c est positif. Nous avons fait la convention de porter au-dessus de l'axe des x les échanges r positifs dans la course directe, et négatifs dans la course rétrograde ; et, en-dessous de l'axe des x, les échanges négatifs dans la course directe, et positifs dans la course rétrograde. De la sorte nous obtenons un diagramme formé de deux surfaces, l'une positive, l'autre négative, qui seraient égales s'il n'y avait ni perte ni gain *à travers* le métal, c'est-à-dire pas de rayonnement extérieur. Il présente la forme représentée fig. 1 de la planche 145-146 ; c'est un diagramme type dans lequel nous avons distingué par le trait interrompu xy l'action des parois R_f ou $R_e + E$ ou $R_e - (Q' - E)$; le rectangle qui représente le travail absolu positif a sur tout son pourtour des hachures obliques serrées ; les surfaces positives et négatives représentant des échanges de chaleur entre le métal et la vapeur sont distinguées par l'inclinaison des larges hachures. Le diagramme d'indicateur est en gros traits noirs.

Afin de pouvoir établir une comparaison graphique facile entre toutes les machines, il fallait adopter une échelle uniforme et des points de comparaison bien définis. C'est ce que nous avons fait. Dans la planche ci annexée, qui accompagnait un mémoire en anglais. nous avons représenté par *un pouce et huit dixièmes la course du piston*, quelle qu'elle soit en réalité dans la machine.

La dépense de vapeur nous l'évaluons en *kilogrammes*, en convenant qu'un kilogramme représente 655,062 calories, soit la chaleur totale d'un kilogramme de vapeur à 6 atmosphères de tension absolue. Dès lors, étant donnés Q et Q', la consommation de vapeur π par période sera donnée par

$$\pi = \frac{Q + Q'}{655{,}062}.$$

Nous rapportons ensuite toutes les quantités au kilogramme de vapeur consommée. Ainsi nous divisons r par π et le quotient représente un échange de chaleur estimé en kilogrammes par mètre carré et par kilogramme de vapeur consommée. Les pressions p et les échanges r sont tous exprimés de la même façon. Il est bien entendu que pour ramener tous les diagrammes à la même base il faut multiplier les résultats précédents par le volume engendré par le piston en une course entière.

Il en résulte que, pour comparer les diagrammes de pression et d'échange de deux machines quelconques on n'a qu'à les superposer.

Telles sont les règles que nous avons suivies dans le tracé des diagrammes de la planche ci-annexée. Voici l'explication du diagramme type fig. 1.

Pendant l'admission, la vapeur fait un travail représenté par la surface *b*BD*db;* elle *cède* en outre au métal une quantité de chaleur représentée à la même échelle par la surface *b*G H*d b*.

Pendant la détente, la vapeur fait un travail représenté par l'aire *d* D E *e d*; mais elle *reçoit* du métal une quantité de chaleur représentée par la surface *d e* P M *d*.

Pendant l'échappement anticipé, la vapeur fait le travail *e* E F *f e* ; et reçoit du métal une quantité de chaleur représentée par *e* L K *f e*.

Donc, *pendant la course directe*, la vapeur a fait le travail *b* B D E F *f b* que nous avons désigné par T^f, et que Hallauer nommait travail absolu ; nous dirons travail absolu positif. La surface *b* S R *f b* a été faite égale à la précédente, c'est pourquoi sur la ligne S R nous avons mis la lettre T_f.

Pendant la course rétrograde nous avons aussi trois phases : l'émission, la compression, l'admission anticipée. Le travail reçu par la vapeur ou travail absolu négatif est représenté fig. 1 par *f* F C A B *b f*. Quant à l'échange de chaleur il est représenté

Pendant l'émission par l'aire du rectangle *f* J Q *c f;*

Pendant la compression par l'aire du rectangle *c* N T *a c;*

Pendant l'émission anticipée par l'aire du rectangle *a* U V *b a*.

Pendant l'émission c'est le métal qui cède de la chaleur à la vapeur, l'opération est négative. Dans les deux autres phases , c'est le contraire.

En ce qui concerne l'étude comparative des essais, nous l'avons résumée dans un tableau ci-annexé en y inscrivant :

D'abord les particularités relatives à l'essai et à la machine ; l'espace mort rapporté au volume engendré par le piston en une course ; puis le degré d'expansion réel, c'est-à-dire le rapport des volumes occupés par la vapeur dans le cylindre au commencement et à la fin de la détente. La pression à la chaudière et la température correspondante, s'il n'y a pas surchauffe : celle de la surchauffe s'il y a lieu ; c'est la température la plus élevée que puisse posséder la vapeur en jeu. La température de l'eau froide de condensation, ou celle de l'at-

semble donc limitée par ce fait. La même conclusion peut se déduire des autres expériences comme nous allons le faire voir.

La vapeur surchauffée de Hirn a un effet qui sera mieux mis en relief par la comparaison des essais I et II de 1873, respectivement avec et sans surchauffe et V et VI de 1875, respectivement avec et sans surchauffe.

Essais I et II (1873)

Le travail absolu est augmenté de . . 0,143 — 0,117 = 0,026
La perte par parois est diminuée de. . 0,147 — 0,067 = 0,080
Les autres pertes sont augmentées de . 0,790 — 0,736 = 0,054

Essais V et VI (1875)

Le travail absolu est augmenté de . . 0,146 — 0,124 = 0,022
La perte par parois est diminuée de . . 0,250 — 0,150 = 0,100
Les autres pertes sont augmentées de . 0,704 — 0,626 = 0,078

Le bénéfice définitif sur le travail absolu est donc dans le premier cas de 22 % et dans le second de 18 %. Mais le travail ne profite pas de toute la diminution de l'action des parois ; il n'en recueille que le tiers ou le quart, le reste va augmenter les pertes en augmentant la chaleur que la vapeur emporte en s'échappant.

Les essais de Willans sur l'effet des grandes vitesses sont surtout rendus sensibles par les diagrammes IV, V et VI de la seconde série, correspondant respectivement aux vitesses de 409,1 de 205,2 et de 112,7 tours par minute. Il saute aux yeux que le réchauffement des parois pendant l'admission, R_a, va en augmentant à mesure que la vitesse diminue ; que la restitution de chaleur faite par les parois à la vapeur pendant la détente, va aussi en augmentant, mais que le résultat définitif, la perte définitive par parois, ou R_f, va en augmentant. Le tableau suivant le démontre par des chiffres :

	400 et 200 révolutions IV et V	200 et 100 révolutions V ET VI	400 et 100 révolutions IV ET VI
Le travail absolu est augmenté de . .	0.010	0.016	0.026
La perte par parois, diminuée de	0.030	0.098	0.128
Les autres pertes, augmentées de. . . .	0.020	0.082	0.102

Le bénéfice résultant sur le travail est, pour ces trois termes de comparaison, respectivement de 10,5, 20,2 et 32,9 %.

L'analogie de ces résultats démontre l'analogie des procédés naturels par lesquels ils sont obtenus. La conclusion générale est donc la suivante :

Quel que soit le procédé employé pour diminuer l'influence nuisible des parois, le bénéfice fait sur les parois ne va pas tout entier au travail, la majeure partie va augmenter la perte en s'incorporant à la vapeur qui quitte le cylindre.

On peut annuler la perte par parois et même la rendre négative, c'est-à-dire que l'action définitive des parois peut être de réchauffer la vapeur ; c'est ce qui est arrivé deux fois, essai III de Donkin et VIII de Hirn, chaque fois sans condensation, c'est-à-dire alors que les parois étaient peu refroidies lors de l'admission. Mais le bénéfice effectué se partage fort inégalement entre le travail et les pertes: au travail il n'en va qu'*un cinquième* environ, et *quatre cinquièmes* aux pertes par ce défaut du cycle de nos machines d'où le fluide s'en va encore chaud après avoir travaillé.

Il semble donc qu'il y ait là une borne à l'économie, que l'on peut demander à ces moyens, et que l'homme ne saurait la dépasser.

On dirait aussi que l'économie due à l'accroissement de vitesse doit avoir une limite ; probablement il existe une vitesse telle qu'il n'y aurait plus bénéfice à la dépasser.

Des trois moyens, enveloppe à gaz, surchauffe, grande vitesse, le plus généralement applicable, est la vapeur surchauffée. En effet, pour marcher à des vitesses de 400 tours et plus, une machine doit être construite tout exprès, et pour toute machine il existe une vitesse qu'il serait dangereux de dépasser. L'enveloppe à gaz peut en général être appliquée, mais elle sera peu économique là où le gaz coûte cher. Quant à la vapeur surchauffée elle exige seulement un réchauffeur qu'il faut ajouter à la chaudière. L'appareil est simple mais sa construction doit être soignée si l'on ne veut perdre au lieu de gagner. De difficultés il n'en est aucune de sérieuse ; l'exemple de la machine du Logelbach qui fonctionne à vapeur surchauffée, depuis plus de trente ans, est là pour le démontrer. En outre l'économie pratique du systême ne saurait être sujette à contradiction. Il suffit de jeter un regard sur la dernière ligne du tableau ci-annexé pour s'en convaincre. La consommation par cheval-heure absolu, à l'essai n° V est descendue à 6,62 kilogrammes de vapeur ; la moindre pour les essais de Willans, a été de 8,13 kilogrammes. Les compounds de Willans (dont il n'est pas question dans ce mémoire), n'ont guère consommé moins que la vieille machine du Logelbach.

Expériences de Donkin. Enveloppe à flamme de gaz. | *Essais de Hirn. Vapeur surchauffée.*

	ENVELOPPE A GAZ			SANS enveloppe		VAPEUR SURCHAUFFÉE						VAPEUR saturée	
	à condensation		sans condensation	à condensation	sans condensation	avec condensation					sans condensation	avec condensation	
Date de l'essai	9 août	8 août	31 juil.	9 août	26 juil.	7 sept.	26 août	18 nov. 1873.	27 août	29 sept.	28 oct.	8 sept.	28 nov. 1873
N° de l'essai	I *bis*	I	III	II	IV	V	III	I	IV	VII	VIII	VI	II
N° de Donkin	No. 3	No. 2	No. 9	No 4.	No. 3								
Espace mort	0.102 du volume engendré par course					0.010 du volume engendré par course							
Réel degré d'expansion	0.684	0.684	0.684	0.684	0.684	0.162	0.214	0.257	0.454	0.454	0.287	0.162	0.257
Pression absolue, chaudière, lbs	49.70	49.20	50.20	49.20	50.20	70.66	71.08	69.55	69.34	71.48	62.23	70.70	66.14
Température de surchauffe	»	»	»	»	»	384°	419°	448°	433°	428°	428°	»	»
Température maximum	741°	739°	Vapeur surchauf. pendant toute la durée de la course	740°	742°	843°	878°	907°	893°	897°	897°	763°	758°
Température minimum	520°	520°		520°	520°	521°	521°	514°	521°	519°	515°	521°	512°
Maximum de travail	0.298	0.296		0.297	0.299	0.382	0.407	0.433	0.416	0.414	0.420	0.317	0.324
Minimum de perte	0.702	0.704		0.703	0.701	0.618	0.593	0.567	0.584	0.586	0.580	0.683	0.676
	1.000	1.000		1.000	1.000								
Travail absolu	0.191	0.090	0.127	0.083	0.096	0.146	0.144	0.143	0.124	0.126	0.141	0.124	0.117
Perte par parois	0.107	0.108	—0.013	0.170	0.151	0.150	0.114	0.067	0.119	0.138	—0.004	0.250	0.147
Autres pertes	0.802	0.802	0.886	0.747	0.753	0.704	0.743	0.790	0.757	0.736	0.863	0.626	0.736
Perte par chaleur interne de la vapeur d'échappement	0.817	0.815	0.935	0.762	0.775	0.705	0.743	0.790	0.759	0.737	0.871	0.627	0.736
Rendement	0.305	0.304		0.279	0.321	0.382	0.354	0 330	0 298	0.304	0.336	0.391	0.361
Kil. de vapeur par cheval-heure absolu	11.71	10.88	7.78	11.97	10.32	6.62	6.79	6.78	7.83	7.22	6.90	7.80	8.29

Essais de Willans. Simple effet, sans condensation, sans enveloppe. Essais de vitesse

	GRANDE VITESSE environ 400 tours par minute				VITESSE MOYENNE environ 210 tours par minute				PETITE VITESSE environ 115 tours par minute			
Vitesse	400.16	400.9	409.1	408.4	223.7	223.0	205.2	200.6	138.0	122.8	112.7	110.5
Date de l'essai	5 déc.	30 nov.	8 déc.	6 déc.	2 déc.	30 nov.	9 déc.	7 déc.	5 déc.	1 déc.	8 déc.	6 déc.
Numéro de l'essai	X	VII	IV	I	XI	VIII	V	II	XII	IX	VI	III
Espace mort	0.070 du volume engendré par course.											
Réel degré d'expansion	0.280	0.327	0.401	0.497	0.280	0.327	0.401	0.497	0.280	0.327	0.401	0.497
Pres. absol. à la chaud. lbs.	136.74	111.75	88.57	65.46	126.98	99.40	80.97	58.57	120.14	94.93	76.40	54.69
Température maximum	810°	795°	778°	758°	804°	786°	772°	751°	800°	783°	768°	746°
» minimum	519°	517°	524°	524°	519°	519°	525°	519°	519°	525°	527°	509°
Maximum de travail	0.359	0.349	0.326	0.308	0.355	0.340	0.320	0.308	0.351	0.329	0.313	0.317
Minimum de perte	0.641	0.651	0.674	0.692	0.645	0.660	0.680	0.692	0.649	0.671	0.687	0.683
Travail absolu	0.120	0.116	0.105	0.100	0.097	0.116	0.095	0.092	0.093	0.091	0.079	0.079
Perte par parois	0.126	0.106	0.130	0.147	0.189	0.116	0.160	0.133	0.214	0.205	0.258	0.230
Autres pertes	0.754	0 778	0.765	0.753	0.714	0.768	0.745	0.775	0.693	0.704	0.663	0.691
Perte par la chaleur interne de la vapeur qui s'echappe	0.762	0.784	0.771	0.759	0.719	0.774	0.751	0.781	0.697	0.708	0.669	0.696
Rendement	0.334	0.332	0.322	0.320	0.273	0.341	0.297	0.299	0.265	0.277	0.252	0.244
Kil. de vapeur par cheval-heure absolu	8.13	8.35	9.22	9.90	10.00	8.35	10.22	10.58	10.40	10.71	12.35	12.62

SUR LA

DÉTERMINATION EXACTE DES POSITIONS RÉCIPROQUES

de l'extrémité de la bielle et de la manivelle et sur un diagramme de distribution tenant rigoureusement compte de l'obliquité des bielles

PAR

M. F. DUBOST

ANCIEN ÉLÈVE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE
INGÉNIEUR A LA COMPAGNIE DES CHEMINS DE FER DE L'EST

Quand on veut étudier une distribution de machine à vapeur à tiroir simple on commence généralement par supposer les bielles infinies. Les diagrammes bien connus de Reech, de Reuleaux, de Zeuner et de M. Marcel Deprez donnent alors des solutions fort simples. Pour tenir compte de l'influence de l'obliquité des bielles, on trace ensuite le plus souvent une épure, grandeur qui permet de corriger les éléments de la distribution.

Divers procédés approximatifs ont été indiqués par MM. Marcel Deprez et H. Léauté, pour faire cette correction sans avoir recours à l'épure grandeur.

De son côté, M. Claeys, ingénieur belge, a indiqué un procédé qui donne la solution du problème, mais qui exige le tracé préalable et par points d'une courbe spéciale.

MM. Coste et Maniquet résolvent la question par l'emploi de gabarits, mais cette méthode tout en réalisant un véritable progrès n'est en somme que l'épure grandeur.

L'objet de la présente note est, dans une épure limitée par le cercle décrit par la manivelle motrice, de donner une solution rigoureuse de cette question.

I. — POSITIONS RÉCIPROQUES DES EXTRÉMITÉS DE LA BIELLE ET DE LA MANIVELLE

Prenons deux positions symétriques AB, AB' de la manivelle (fig. 1) ; C et C'

sont les projections du tourillon de la manivelle sur la direction AI du mouvement de l'extrémité de la bielle de telle sorte que

$$FB = FB' = AC = AC'$$

A chacune des positions AB et AB' de la manivelle correspondent respective-

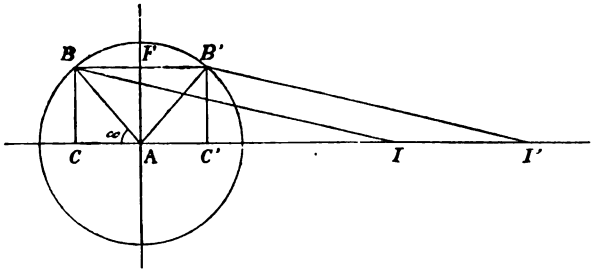


FIG. 1

ment les positions I et I' de l'extrémité de la bielle. La figure BB'I'I est un parallélogramme et

$$II' = AI' - AI = BB' = CC' = 2AC$$

Les triangles CBI, C'B'I' étant rectangles, nous avons :

$$AI = CI - AC = \sqrt{\overline{BI}^2 - \overline{BC}^2} - AC$$

$$AI' = C'I' - AC' = \sqrt{\overline{B'I'}^2 - \overline{B'C'}^2} - AC'$$

Comme

$$BI = B'I' = L, \qquad BC = B'C', \qquad AC = AC.$$

$$\overline{AC}^2 + \overline{BC}^2 = \overline{AB}^2 = \overline{R}^2$$

on a, en faisant le produit, $AI \times AI'$,

$$AI \times AI' = \overline{BI}^2 - \overline{BC}^2 - \overline{AC}^2 = \overline{BI}^2 - \overline{AB}^2 = L^2 - R^2$$

c'est-à-dire que le produit des distances AI, AI', *à l'axe de l'arbre, des extrémités de la bielle correspondant à deux pistons symétriques de la manivelle est constant et égal à* $(L^2 - R^2)$.

Soient D et D' les positions de l'extrémité de la bielle correspondant aux points morts de la manivelle, décrivons sur $DD' = 2R$, comme diamètre, une circonférence de centre O (fig. 2), menons AM tangente à cette circonférence et portons sur AO, $AP = AM$. On a :

$$\overline{AM}^2 = \overline{AP}^2 = AD \times AD' = AI \times AI' = L^2 - R^2.$$

L'égalité de AM et de AP entraîne celle des angles AMP et APM ; soit E le

point de rencontre de MP avec la circonférence, $\widehat{AME}$ mesure $\frac{\text{Arc MD} + \text{Arc DE}}{2}$

$\widehat{APM}$ mesure $\frac{\text{Arc MD} + \text{Arc ED'}}{2}$, donc arc DE = arc ED' et *la droite* MP *passe par le milieu* E *de la demi-circonférence* DED'.

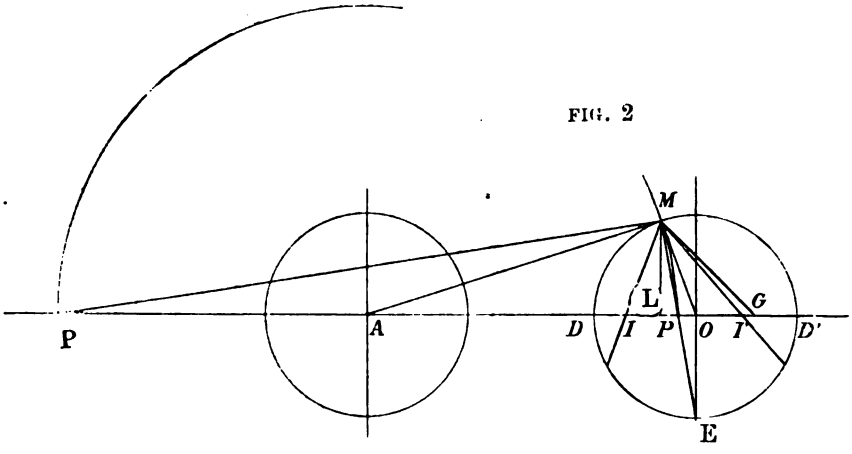


FIG. 2

Menons maintenant par M une droite rencontrant AO en G et telle que MP soit la bissectrice de l'angle IMG. Les points G et I' coïncident. Décrivons, en effet, de A comme centre avec AM = AP une demi-circonférence coupant AO en un second point P' (fig. 2)

L'angle PMP' étant droit, MP' est la bissectrice de l'angle supplémentaire de IMG et l'on a :

$$\frac{IM}{MG} = \frac{IP}{PG} = \frac{P'I}{P'G} = \frac{AP - AI}{AG - AP} = \frac{AP' + AI}{AP' + AG} = \frac{AP + AI}{AP + AG}$$

$$= \frac{2\,AP}{2\,AG} = \frac{2\,AI}{2\,AP}$$

d'où

$$AI \times AG = AP^2 = L^2 - R^2$$

et par suite AG = AI'. Donc les points G et I' coïncident *et la droite* MP *est la bissectrice de tous les angles* IMI'.

Prolongeons MI et MI' jusqu'à leur rencontre en K et K' (fig. 3) avec la circonférence de centre O, KK' sera parallèle à DD'; menons par M une parallèle MN coupant le diamètre perpendiculaire à DD' en N et joignons NK, NK' coupant DD' en H et H'. A cause de la symétrie de la figure et du parallélisme de

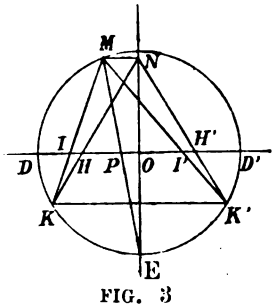


FIG. 3

MN, DD' et KK', il est bien évident que O est le milieu de HH' et que HH' = II'. Or II' = BB' = CC' (fig. 1), par conséquent OH = AC, OH' = AC' et les *points* H *et* H' *peuvent* être considérés comme les projections sur la direction du mouvement du tourillon de manivelle correspondant respectivement aux positions I et I' de l'extrémité de la bielle et transportées de la longueur de cette dernière parallèlement à la direction du mouvement.

Les points correspondants I et H pour l'extrémité de la bielle et la projection de la manivelle joints aux points fixes M et N donnent des droites MI et NH qui se coupent en K sur la circonférence de centre O et de rayon égal à celui de la manivelle.

Il en est de même pour les points correspondants I' et H' qui donnent les droites MI', NH' qui se rencontrent en K' sur la même circonférence.

Calculons la longueur de la demi-corde MN. On a dans le triangle rectangle AMO en abaissant ML perpendiculaire sur DD' (fig. 2).

$$MN = OL = \frac{\overline{MO}^2}{AO} = \frac{R^2}{L}$$

De ce qui précède nous en déduisons cette propriété de cinématique.

Les positions réciproques I *et* H *de l'extrémité de la bielle et de la projection du tourillon de manivelle sur la direction du mouvement déplacée suivant cette direction de la longueur de bielle, s'obtiennent, en joignant les extrémités* M *et* N *d'une demi-corde égale à* $\frac{R^2}{L}$ *parallèle à la direction du mouvement, à un point* K *se déplaçant sur la demi-circonférence opposée à la demi-corde.* (fig. 4)

Le résultat précédent, une fois connu, peut s'établir directement d'une façon assez rapide. Désignant par ω l'angle de rotation CAB de la manivelle, on a (fig. 1)

$$AI = CI - AC = - AC + \sqrt{\overline{BI}^2 - \overline{BC}^2} = - R \cos \omega + \sqrt{L^2 - R^2 \sin^2 \omega}$$

Si l'on transporte la projection C du tourillon de manivelle en H, parallèlement à la direction du mouvement de la longueur L de bielle, la distance IH qui le sépare de l'extrémité de la bielle sera évidemment :

$$IH = L - \sqrt{L^2 - R^2 \sin^2 \omega}$$

Cela dit, si l'on mène une demi-corde $MN = \frac{R^2}{L}$ parallèle à la direction du mouvement et si l'on joint M et N à un point quelconque K de la demi-circonférence DED', les intersections I et H de MK et NK avec DD' donneront les positions simultanées de l'extrémité de la bielle et de la projection

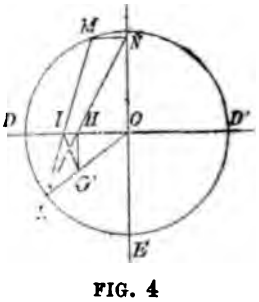


FIG. 4

du tourillon de manivelle. Il suffit pour le démontrer de prouver qu'on aura $OH = R \cos \omega$ quand $IH = L - \sqrt{L^2 - R^2 \sin^2 \omega}$ et inversement.

Menons pour cela HG' parallèle à ON et coupant OK en G', IG' sera évidemment parallèle à OM et de plus égale à KG' (fig. 4).

Les triangles semblables IG'H, MON donnent :

$$\frac{IG'}{IH} = \frac{MO}{MN} = \frac{L}{R}, \qquad \text{d'où} \qquad IG' \times R = L \times IH$$

mais

$$\overline{OH}^2 = \overline{OG'}^2 - \overline{G'H}^2 = (OK - KG')^2 - (\overline{GI}^2 - \overline{IH}^2)$$

et comme

$$\begin{aligned} OK &= R, \quad KG' = G'I, \\ \overline{OH}^2 &= R^2 - 2\,R \times IG' + \overline{IH} \\ &= R^2 - 2L \times IH + \overline{IH} \\ &= R^2 - L^2 + (L - IH)^2 \end{aligned}$$

De cette égalité on déduit immédiatement $OH = R \cos$ $IH = L - \sqrt{L^2 - R^2 \sin^2 \omega}$ et inversement, c. q. f. d.

II. — DIAGRAMME DE DISTRIBUTION

La propriété cinématique que nous venons d'établir permet, connaissant la position de l'extrémité de la bielle d'en déduire simplement et rigoureusement celle de la manivelle et réciproquement.

Cette propriété s'applique aussi bien au mouvement du piston qu'à celui du tiroir. Si donc on en fait simultanément l'application à ces deux éléments fondamentaux d'une machine à vapeur, on peut en déduire à chaque instant la loi de dépendance qui lie leurs positions. On pourra connaître par suite toutes les phases de la distribution et du travail de la vapeur.

Soit un tiroir commandé par une bielle de longueur l et un excentrique de rayon r avec un angle d'avance δ. Ce tiroir assure la distribution de la vapeur sur un piston mû par une bielle de longueur L et une manivelle de rayon R. La rotation ayant lieu de gauche à droite, faisons tourner l'excentrique de droite à gauche de $(90° + \delta)$; la direction de la manivelle d'excentrique coïncidera alors avec celle de la manivelle motrice et la glace du tiroir aura la direction dd' faisant avec DD', direction du mouvement du piston, un angle de $(90° + \delta)$ (fig. 5). De O comme centre, aux échelles qu'il conviendra pour le

tiroir et le piston, décrivons des circonférences de rayons r et R, calculons ensuite les demi-cordes

$$mn = \frac{r^2}{l}, \qquad MN = \frac{R^2}{L}$$

parallèles respectivement à dd' et DD'. Les intersections i et h des droites mk, nk joignant m et n à un point k de la demi-circonférence ded' avec dd' donneront à chaque instant, d'après ce qui précède, les positions réciproques de la projection du tourillon de l'excentrique sur la direction du mouvement et de l'extrémité de la bielle de commande, par conséquent du centre d'oscillation du tiroir qui en est à une distance constante.

Les droites NK et MK coupant DD' en H et I donnent de même les posi-

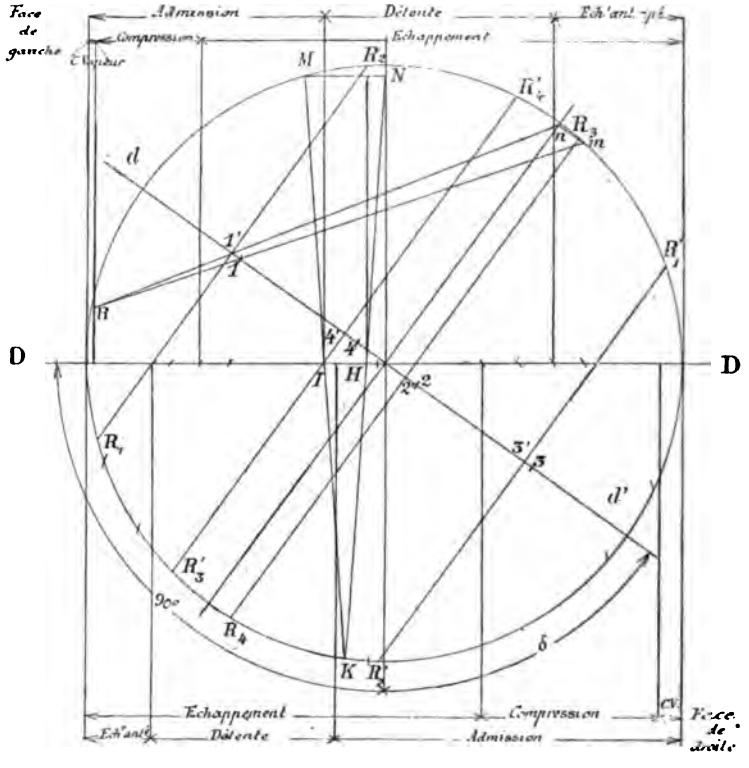


FIG. 5

tions correspondantes de la projection du tourillon de la manivelle sur la direction du mouvement et de l'extrémité de la bielle, par suite du piston.

Considérons la face de gauche du piston. La lumière d'admission commencera à se découvrir quand le tiroir aura parcouru à partir de sa position moyenne, une distance 01 égale au recouvrement extérieur ; la lumière en question se

fermera quand le centre d'oscillation du tiroir après avoir dépassé cette position, y sera revenu.

Portons donc à l'échelle convenue le recouvrement extérieur O1 : quand le centre d'oscillation du tiroir est arrivé en 1, la position correspondante de la projection du tourillon de la manivelle d'excentrique sur la direction *dd'* du mouvement est au point 1' obtenu en joignant *m* à 1, prolongeant *m*1 jusqu'à sa rencontre k_1 avec la circonférence de rayon *r* et joignant nk_1 qui coupe *dd'* au point demandé.

Les positions de l'excentrique et par suite de la manivelle motrice qui correspondent à l'ouverture et à la fermeture de la lumière d'admission sont donc OR_1 et OR_2 obtenues en joignant O aux points r_1, r_2 d'intersection avec la circonférence décrite par le tourillon d'excentrique de la perpendiculaire menée par 1' à *dd'*.

La fin de la détente et la fin de l'échappement auront de même lieu quand le tiroir se sera déplacé en sens inverse, à partir de sa position moyenne d'une quantité égale au recouvrement intérieur O2 auquel correspond la position 2' pour la projection du tourillon de l'excentrique et OR_3 OR_4 pour les positions des manivelles.

La considération des recouvrements O3 et O4 (fig. 5) relatifs à la face de droite du piston donnerait de même les positions exactes de la manivelle correspondant aux diverses phases du travail de la vapeur.

Si l'on suppose les bielles infinies comme dans les procédés approximatifs de Reech, de Zeuner, de Reuleaux et M. Marcel Deprez, la direction des manivelles est donnée alors en joignant au centre O les points d'intersection avec la circonférence de l'excentrique des perpendiculaires à *dd'* menées par 1, 2, 3 et 4.

Une fois les positions de la manivelle connues, pour déterminer les positions correspondantes du piston on n'a qu'à projeter les extrémités R_1, R_2, R_3, R_4 du tourillon de manivelle motrice sur DD'. La position OR_2 de la manivelle motrice par exemple, donne ainsi le point H qui joint à N fait connaître le point K sur la circonférence décrite par la manivelle motrice. L'intersection I_3 de MK avec DD' fait connaître la position exacte du piston correspondant à la fin de la détente.

La même construction répétée pour les positions OR_1, OR_2, OR_4 de la manivelle motrice donne toutes les autres phases du travail de la vapeur sur la face de gauche du piston.

Il n'y a aucun changement à apporter à la construction pour la face de droite.

Dans les procédés approximatifs supposant les bielles infinies, on se borne pour avoir les diverses positions du piston à projeter les extrémités R_1, R_2 R_3, R_4, des positions diverses de la manivelle sur la direction DD' du mouvement du piston.

Il est à remarquer que le diagramme de distribution exact présenté sous la

forme indiquée ci-dessus n'exige pour son tracé que l'emploi de droites sans aucune circonférence de construction. Il n'entraîne pas l'emploi de lignes se coupant sous des angles inférieurs à 45° environ, ce qui est avantageux au point de vue graphique. Ce diagramme indique donc d'une façon complète et exacte les déplacements du tiroir et du piston, les angles de rotation ; enfin il n'est pas en défaut, comme celui de Zeuner, et conserve au contraire toute sa rigueur quand les recouvements intérieurs sont très petits. Cette dernière raison nous fait même préférer dans le cas de bielles infinies le tracé de Reuleaux à celui de Zeuner.

Sans insister, nous ferons remarquer en terminant que le traçé s'applique au cas où la distribution, au lieu d'être à tiroir unique, est à tiroirs superposés ou encore à plaques de détente.

SUR UN NOUVEAU

PROCÉDÉ DE COMMANDE DES TIROIRS DE DISTRIBUTION

au moyen de l'orientation facultative du collier d'excentrique

PAR

M. BONJOUR

Dans l'étude et la construction des mécanismes de distribution nous avons toujours remarqué, jusqu'à présent, la caractéristique suivante :

Le collier d'excentrique étant assemblé rigidement avec la bielle de traction ; il en résulte que, pour une rotation complète de l'arbre moteur, le centre du collier décrit un cercle ayant pour rayon l'excentricité même de la poulie excentrée.

Dans ces conditions, si l'on fixe son attention sur un point déterminé quelconque du collier d'excentrique, on peut observer que ce point décrit une courbe déformée par l'obliquité de la bielle de traction, et que cette courbe subit elle-même une déformation différente, suivant que l'observation a porté sur tel ou tel point du collier d'excentrique. La figure 1 planche 147-148 indique cette particularité, cette figure représente en même temps que le cercle décrit par le collier d'excentrique quatre courbes prises en des points du collier diamétralement opposés les uns aux autres.

Avec ce dispositif, il semble facile au premier abord, de pouvoir commander simultanément un tiroir de distribution et un tiroir de détente au moyen d'un seul excentrique ; mais cette solution n'est simple qu'en apparence ; aussi beaucoup de constructeurs lui ont-ils préféré l'adjonction d'un deuxième excentrique spécial pour le tiroir de détente.

En effet, les mouvements des deux tiroirs ne devant pas être simultanés, mais bien au contraire variés, il est indispensable que la commande du tiroir de détente soit faite par un excentrique placé sous un angle de calage différent. En d'autres termes, et dans le cas qui nous occupe, si l'on désire greffer sur le collier d'un excentrique unique, la commande d'un tiroir de détente, il faut que ce

mécanisme additionnel soit placé sous un angle différent de celui de la direction du tiroir principal.

De plus, il devient indispensable d'avoir recours à des renvois de mouvement pour actionner le tiroir de détente, qui lui, est placé sur le même angle de direction que le tiroir principal avec lequel il fonctionne parallèlement.

Il est à remarquer que, même avec cette complication, l'on ne peut obtenir qu'une détente fixe ; pour la rendre variable, il faut recourir à un second mécanisme additionnel analogue à ceux employés par Meyer, Bréval, Ryder, etc.

Frappé de ces multiples inconvénients, nous avons tenté d'obtenir la commande ainsi que la variabilité d'un tiroir de détente par des moyens beaucoup plus simples.

En examinant attentivement l'ensemble du mouvement produit par le mécanisme, composé de l'excentrique et de sa bielle, nous avons remarqué, qu'en articulant la bielle de traction sur le collier d'excentrique, il était possible de communiquer à celui-ci un mouvement angulaire sur son excentrique.

Cette remarque nous a conduit à la déduction suivante :

En orientant d'une façon particulière le collier d'excentrique soit au moyen d'un coulisseau, soit avec un système de leviers, il devra en résulter que tous les points pris sur le pourtour du collier seront nécessairement influencés d'une façon différente, (le mouvement du cercle décrit par le centre du collier se combinant avec celui de la ligne parcourue par l'orientation.)

Cette propriété est représentée par la figure 2, planche 147-148 ; le collier est orienté suivant la ligne AB et trois autres points, pris sur le pourtour du collier, tracent des courbes différentes ; deux de ces points décrivent des ellipses orientées différemment et le troisième décrit une courbe en forme de 8.

Le problème de la commande directe d'un tiroir de détente étant ainsi résolu, il restait à obtenir la variabilité de ses mouvements.

Nous avons pensé que s'il était possible d'arriver à reproduire sur un point déterminé du collier d'excentrique, les diverses courbes déjà obtenues sur des points différents, il serait possible de varier à volonté les mouvements transmis au tiroir de détente.

Ce résultat a été obtenu par un moyen d'une remarquable simplicité ; en modifiant l'orientation du collier et en faisant varier ainsi l'angle de direction de la coulisse ou des leviers.

Par l'examen de la figure 3, planche 147-148, on peut se rendre un compte exact du résultat obtenu.

Cette figure montre que, si l'on modifie l'orientation suivant les lignes AB, CD, EF, en faisant osciller la coulisse sur son axe (ainsi que le représente le dessin) il en résulte que trois points différents pris sur le pourtour du collier décrivent des courbes très différentes, et que, de plus, ces courbes sont différentes pour

chaque point, selon que le quatrième aura été orienté suivant l'une des directions des mêmes lignes AB, CD ou EF.

La figure 4, planche 147-148, indique bien le résultat que l'on peut atteindre en employant le mécanisme que nous avons imaginé.

Cette figure représente quatre courbes. A, B, C, D, obtenues par le même mouvement initial, engendré par un point déterminé pris sur le pourtour du collier d'excentrique ; ces courbes sont plus ou moins déformées suivant que l'on fait varier l'angle de direction du mécanisme d'orientation du dit collier.

Cette figure montre également la richesse de déformation des trajectoires dont ce mécanisme est susceptible ; non seulement les courbes et les espaces parcourus diffèrent sensiblement entre eux ; mais, en outre, la direction même du mouvement peut être changée, ainsi que l'indique la courbe A.

L'étude approfondie de ce mouvement nous a permis de résoudre l'un des problèmes les plus difficiles concernant les mécanismes de distribution, problème consistant à opérer au moyen d'un tiroir unique l'admission et l'évacuation, tout en pouvant varier à volonté la durée des périodes d'admission, sans faire varier sensiblement les compressions et les avances à l'évacuation.

L'examen des deux courbes de régulation, représentées figure 5, planche 147-148, permet de se rendre compte que les périodes de compression et d'avance à l'évacuation restent sensiblement constantes, soit que la machine marche à faible charge et par conséquent avec la courbe de régulation A correspondant à une admission de 3 %, soit qu'elle fonctionne avec la courbe B, correspondant à une admission de 75 %.

Ayant décrit les principales particularités de ce mode de distribution, nous allons montrer maintenant une application de ce mécanisme.

Les figures 1 et 2 de la planche 149-150 représentent cette application consistant à commander directement les deux tiroirs de distribution et de détente avec le même collier d'excentrique.

Ce mécanisme présente cette remarquable particularité que l'action du régulateur en agissant sur l'orientation du collier d'excentrique, est sans influence sur les périodes d'avance et de compression par le tiroir principal, tout en ayant au contraire une très grande influence sur le tiroir de détente.

Nous allons expliquer le fonctionnement des divers organes en nous reportant aux lettres qui les caractérisent sur les figures 1 et 2 de la planche 149-150.

Les deux tiroirs sont conduits par les points A et B convenablement choisis sur le pourtour du collier d'excentrique ; ce sont sur ces points que viennent s'articuler les bielles de traction des tiroirs.

Une troisième articulation C, prise également sur le collier, est mise en connexion par une bielle CD avec l'extrémité d'un levier coudé DEF ; l'extrémité F est reliée au régulateur et l'axe d'oscillation E du même levier oscille dans un bossage venu de fonte avec le palier du bâti.

Supposons que le point D soit fixe, il s'ensuit que par la rotation de l'excentrique, le point C, se déplacera en restant toujours sur un arc de cercle décrit du point D, les points A et B, sur lesquels sont articulées les bielles, décrivent alors des courbes qui, tracées par points, détermineront les positions respectives des tiroirs.

Tant que le point D restera invariable, la détente restera fixe ; mais si le point F relié au régulateur se déplace et passe en F', par ce fait, D passera en D', il en résultera que l'arc de cercle qui oriente le point C en prenant un angle différent changera l'orientation du collier et les courbes décrites par les points A et B, en changeant et de moment, et d'amplitude, modifieront également la détente.

Les figures 3 et 4 de la planche 149-150 représentent l'épure cinématique du mouvement qui nous occupe, les mêmes lettres représentent les mêmes organes que dans la description qui précède, il sera donc facile, à l'aide de cette épure, de suivre pas à pas, les diverses phases de mouvement de ces organes.

Soit figure 1, AR le centre de l'excentrique correspondant au point mort arrière, M et N les positions de ce centre correspondant au point mort avant.

Divisons AV et AR en dix parties égales représentant, sur le cercle, des chemins proportionnels parcourus par le piston en tenant compte des obliquités de la bielle motrice.

La position D du centre d'oscillation du levier restant fixe si l'on fait tourner l'excentrique, l'articulation C du collier se déplacera suivant l'arc décrit par l'extrémité C du levier CD, oscillant autour du point D.

Dans ces conditions il est facile de tracer (en espaces correspondant à des parcours proportionnels à la course du piston) les courbes que décriront A et B, les distances respectives de ces points étant constantes ; il n'y aura ensuite qu'à placer le point D en D', puis dans la position moyenne, pour tracer de même et par points les nouvelles courbes que décriront les points A et B, nous obtiendrons ainsi le groupe des trois courbes A et celui des trois courbes B.

Maintenant, traçons dans ces groupes et avec des rayons égaux aux longueurs des bielles G et H des arcs passant par les points AV et AR de ces courbes, qui sont ceux correspondant aux points morts similaires du piston moteur.

Nous pourrons, dès lors, tracer sur le groupe A la régulation du tiroir principal, nous nous servirons des mêmes arcs pour tracer les bords des orifices et, partant de là, les avances et les recouvrements qui nous paraîtront les plus convenables pour les machines que nous aurons à établir.

Le tracé, représenté figure 3, démontre que, pour le tiroir principal et même avec des recouvrements égaux, les admissions ainsi que les avances et les compressions sont sensiblement pareilles pour les deux faces du piston, résultat qu'il n'est pas possible d'obtenir avec les excentriques ordinaires ; de plus, ces conditions restent constantes pour toutes les positions du régulateur.

Le tracé fait voir, en outre, que le tiroir principal ferme l'admission à 75 % avec 16 % de compression et une légère avance à l'évacuation, il est donc étudié pour une machine à un cylindre et à condensation.

Il ne reste plus qu'à montrer en quel point cessera l'admission par le tiroir de détente pour les trois positions du régulateur et suivant quelle loi les orifices sont découverts et obturés.

Cette détermination peut se faire au moyen de la figure 4 qui, par la superposition des ellipses, indique la marche corrélative des tiroirs.

Ayant tracé les ellipses A A' A" du tiroir principal, nous leur superposon les extrémités des ellipses B B' B" du tiroir de détente en ayant soin de faire coïncider les deux arcs correspondants aux points morts AV et AR.

On voit de suite que, pour la position D du levier, l'admission est nulle, la courbe A" restant toujours à l'intérieur de la courbe B", tandis que, pour la position extrême du levier, la courbe B vient couper la courbe A à 48 %, en moyenne, de la course du piston moteur, enfin, pour la position moyenne du levier la courbe B' vient couper la courbe A' à 16 %, en moyenne, de la course du piston.

Les parties hachurées en pointillé font voir suivant quelle loi les orifices sont découverts et fermés.

On remarquera que, pour les trois positions du régulateur, le tiroir principal découvre presque toute la largeur des orifices du cylindre, tandis que la course du tiroir de détente diminue au fur et à mesure que diminue la durée de l'admission.

LA DETENTE MEYER

dans les locomotives

PAR

AD. MEYER

Créée pour locomotives en 1841, et appliquée d'abord à ces machines en 1842, par l'inventeur lui-même, la détente Meyer ne s'est pas répandue aux locomotives en France. Elle y a été abandonnée, dès 1845, pour la distribution par l'appareil de changement de marche de Stéphenson. Mais, dans l'Allemagne du Sud aux chemins de fer de Bavière, ses applications ont été en nombre croissant (plusieurs centaines) jusqu'en 1866.

D'ailleurs, elle s'est répandue aux autres moteurs à vapeur dans le monde entier.

Son bon fonctionnement organique a été mis hors de doute, aussi bien que l'était déjà *a priori* sa qualité d'instrument de variation de l'admission de vapeur entre le maximum donné par le tiroir principal et l'admission zéro.

En présence de ces faits, et bien convaincu que la détente prolongée doit s'appliquer aux locomotives avec beaucoup plus d'avantages que jadis, aujourd'hui que des pressions plus élevées peuvent être employées, j'ai cru intéressant d'examiner dans quelles conditions se sont faites les expériences qui ont motivé l'abandon de la détente Meyer aux locomotives.

1° APPLICATIONS ET EXPÉRIENCES EN FRANCE (1842-1844)

Au début des chemins de fer, la France était tributaire de l'Angleterre pour ses locomotives. Cependant les ingénieurs des chemins d'Alsace, MM. Bazaine et Chaperon, des Ponts et Chaussées, eurent le mérite de commander quelques locomotives aux constructeurs du pays en 1841. C'est ainsi que M. J.-J. Meyer, constructeur à Mulhouse, livra, en 1842, deux locomotives aux chemins de fer

d'Alsace. Elles étaient munies de son appareil de détente variable. Ce furent les premières applications.

Les autres locomotives de cette ligne étaient sans détente, ou presque sans détente, comme presque toutes les locomotives à cette époque.

Au nombre de vingt-cinq, leur consommation moyenne de coke était de 11 kil. 450 par kilomètre; celle des locomotives de Meyer fut de 5 kil. 410, allumage et stationnements compris. (Voir le rapport du Jury central de l'Exposition française de 1844, et le *Bulletin de la Société industrielle de Mulhouse*, n° 87.)

Les locomotives Meyer étaient timbrées l'une à 5, l'autre à 6 atmosphères; leurs cylindres avaient $0^{m},38$ de diamètre, et leur piston 0.46 de course; les roues motrices libres avaient $1^{m},829$ de diamètre. Surface de chauffe, 45 mètres carrés, dont $4^{m^2},85$ de foyer.

Dans ces conditions, il est fort probable que la détente ne dépassait pas deux et demie à trois fois le volume de l'admission, bien que l'appareil de détente permit de la pousser jusqu'à six.

Les autres locomotives des chemins d'Alsace étaient, pour la plupart, timbrées à 4 1/2 atmosphères; leurs cylindres étaient de 30 à 33 sur 46 de course, et les roues motrices de $1^{m},829$ à $1^{m},676$. Trois d'entre elles seulement avaient des roues motrices de $1^{m},524$.

L'économie de combustible constatée dans les locomotives à détente variable, eut pour effet de hâter l'application de la détente fixe par avance, et recouvrement qui n'exigeait d'autres changements que le remplacement des tiroirs et un autre calage des excentriques.

Dès 1843, toutes les locomotives d'Alsace étaient pourvues de la détente fixe et la détente Meyer fut appliquée à deux locomotives à cylindres de 35 et 52 de course et à roues de $1^{m},524$, du même chemin de fer d'Alsace.

En 1843, M. Meyer envoya à Paris la locomotive Mulhouse munie de sa détente. Elle fut mise en parallèle avec l'ensemble des machines locomotives du chemin de fer de Paris à Versailles, qui, toutes, fonctionnaient avec détente fixe, obtenue par l'avance du tiroir et un fort recouvrement. Elle consomma 6 kil. 65, allumage compris, moyenne de deux mois de service.

(Rapport publié aux Annales des Ponts et Chaussées en 1844, sur le résultat d'expériences faites sur la Mulhouse au chemin de fer de Versailles). (2e série, 4e année, 5e cahier.) Le Chatelier, rapporteur.

Examen des conditions de la détente relevées par ce rapport.

Détente de seulement 2 à la montée avec pression de 3 atmosphères.

Détente, 4 à la descente, avec pression de 2 à 3 atmosphères.

Au chemin de fer d'Orléans, elle fut comparée avec la machine le Vauban, sortie récemment des ateliers de R. Stéphenson et fonctionnant à détente variable

par l'appareil de changement de marche à coulisse, qui est devenu d'un usage général.

La Mulhouse consomma, pour un même travail, environ 5 kilogrammes de coke par kilomètre parcouru, mais sa consommation d'eau fut de 15 à 19 % inférieure à la dépense d'eau de la machine de Stephenson. Et cependant le Vauban avait 75 mètres carrés de surface de chauffe, et la Mulhouse 45 mètres seulement.

Il paraît résulter de ces conditions que la machine à détente Meyer était véritablement supérieure à la machine à détente par la coulisse, mais que cette dernière produisait plus économiquement la vapeur ayant une surface de chauffe supérieure de 77 %.

(Rapport du Jury de l'Exposition de 1844).

APPLICATION DE LA DÉTENTE MEYER A L'ÉTRANGER

En 1844 et 1845, M. Meyer a fourni à l'étranger un certain nombre de locomotives munies de sa détente.

Savoir : Quatre en Italie (système de la Mulhouse);

Neuf au grand duché de Bade;

Huit aux chemins royaux de Bavière (système particulier à bâtis et cylindres extérieurs) ;

Et huit aux chemins de fer de l'État autrichien. (Type américain à avant-train.)

Voir le rapport de M. Le Chatelier, (Bulletin d'octobre 1848 ; avril et juin 1849, *de la Société d'Encouragement pour l'industrie nationale*).

En Bavière, l'administration royale plaça les locomotives Meyer en service comparatif sur la même ligne avec des locomotives à détente par la coulisse de Stéphenson. Le résultat fut très nettement favorable aux premières, non-seulement sous le rapport de la consommation de combustible, mais encore sous celui de l'entretien.

Aussi, à dater de 1850 ou 1851, l'administration royale donna la préférence au système Meyer et, par commandes successives, les locomotives à détente Meyer arrivèrent au nombre de plusieurs centaines en 1866.

En 1867, selon M. Mallet, la détente Meyer fut définitivement abandonnée à la suite d'expériences à l'indicateur, faites par M. Bauschinger, professeur à Munich, et par M. Zorn, ingénieur de la traction de Munich à Augsbourg.

Dans son savant mémoire sur l'utilisation de la vapeur dans les locomotives (*Bulletin de la Société des ingénieurs civils*, décembre 1877) M. Mallet dit que les résultats des dites expériences ont été très nettement négatifs pour la dé-

tente Meyer; c'est-à-dire défavorables à la prolongation de la détente dans un cylindre unique.

Quand on sait que l'administration royale avait, pendant plusieurs années, en service parallèle, un certain nombre de locomotives à détente par la coulisse en même temps et sur les mêmes lignes que des locomotives à détente Meyer, on peut être surpris de l'abandon subit qu'elle fait de cette détente qu'elle avait préférée pendant vingt ans en s'appuyant sur des économies de combustible et d'entretien effectivement réalisées.

Quand on se rappelle aussi que la détente par la coulisse ne peut pas utilement être poussée au-delà de 2.25 à 3, et que de fait les locomotives à coulisse marchent effectivement à cette faible détente dans des cylindres calculés exprès assez petits pour cela, on devient curieux de connaître exactement les conditions des expériences établies par MM. Bauschinger et Zorn.

Les conditions se découvrent dans un tableau K annexé au mémoire précité.

On y voit :

1° Que les machines à détente Meyer n'ont fonctionné qu'à très faible détente. 175 diagrammes sur 235 relevés, n'accusent qu'une détente moyenne de 2.28; 44 diagrammes une détente de 4, et 16 diagrammes seulement une détente de 5.

Tandis que les machines à détente par la coulisse ont travaillé avec une détente moyenne de 2.92 constatée par 259 diagrammes relevés en totalité.

2° Que la pression initiale ou celle de la chaudière ne sont pas mentionnées, et que la pression du timbre pourrait bien être plus élevée dans les machines à coulisse que dans les autres, les premières étant de construction plus récente à en juger par leurs dimensions plus grandes.

Les quatre machines à coulisse pèsent 20, 29.5, 29.5 et 34 tonnes; les autres 16, 22, 26 et 30 tonnes.

Les cylindres des quatre premières ont 38/59, 40/61, 40/61 et 457/669.

Les autres ont :

31/508, 38/559, 38/610 et 40/610.

La surface de chauffe des quatre premières est de 63, 95, 95 et 100 mètres carrés; celle des autres est de 46, 66, 68 et 82 mètres carrés.

La puissance des locomotives à coulisse étant donc absolument plus grande d'environ 35 %. Cela seul place les locomotives à détente Meyer dans des conditions défavorables à une comparaison exacte.

CONCLUSIONS

En résumé, la détente Meyer n'a jamais été expérimentée dans des conditions où sa supériorité sur la détente par la coulisse pouvait se manifester; c'est-à-dire aux détentes 4, 5 et 6, et avec douze atmosphères de pression initiale.

La compression exagérée et l'échappement trop anticipé qui accompagnent les faibles admissions dans la distribution par la coulisse s'opposent à l'usage d'une détente prolongée au-delà de 3.

Cela explique pourquoi on est resté généralement au timbre de 8 à 9 kilogrammes.

On ne peut donc pas tirer de l'expérience universelle de la détente par la coulisse, ni des expériences restreintes ou abandonnées de la détente Meyer aux locomotives, aucune conclusion contre la prolongation de la détente à 4, 5 ou 6, en cylindre unique.

Il me semble donc à désirer que des expériences soient reprises avec la détente Meyer ou avec tout autre qui serait préférable, pour obtenir de longues détentes et pouvoir utilement élever la pression des chaudières.

Pour les fortes rampes, c'est-à-dire de 10 à 12 millièmes, et afin d'obtenir un effort tangentiel plus constant et une vitesse plus grande malgré l'usage de détentes prolongées, il y aurait à essayer de trois cylindres actionnant le même essieu.

P. S. — L'Union des chemins de fer de l'Allemagne a exprimé, en 1867, la nécessité de n'employer que des tiroirs simples. On peut voir l'explication de la suppression des détentes Meyer dans le désir de la Bavière de se conformer aux prescriptions de l'Union.

COMMUNICATION

SUR UN

NOUVEAU TYPE DE MACHINE A VAPEUR ACCOUPLÉE

dit « type compound français » b. s. g. d. g.

PAR

M. A. de LANDSÉE

INGÉNIEUR CIVIL

I. — CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES

1. — *Examen des conditions de marche d'une locomotive ordinaire.*— Le type de la machine locomotive, telle qu'elle fonctionne aujourd'hui sur les nombreuses voies ferrées, comprend une machine à vapeur à haute pression, à deux cylindres d'égal diamètre, et dont les pistons actionnent deux manivelles à angle droit.

A l'aide d'un distributeur unique, la vapeur de la chaudière est admise simultanément dans les deux cylindres qni fonctionnent dès lors par double admission.

Les nombreux avantages que présente ce type de machine l'ont depuis longtemps classé dans la pratique comme le mieux approprié aux divers services d'un chemin de fer. Parmi les avantages en question, nous mentionnerons tout particulièrement celui qui résulte du rapport heureux entre le poids adhérent et la surface de chauffe de la chaudière, etc., etc.

Avec ce type de machine, si on varie l'admission dans les cylindres depuis 10 jusqu'à 80 % de la course, il est possible d'utiliser efficacement le poids adhérent dans les limites variant entre un dizième et un tiers, et de vaincre ainsi, d'une façon rationnelle les résistances essentiellement variables qui se produisent sur toute la ligne ferrée.

On peut donc facilement fournir :

Soit un minimum de travail, quand on marche à faible admission, sur un plan, avec une faible charge ;

Soit un travail moyen, correspondant à l'allure de la machine en marche normale ;

Soit un travail maximum, quand il faut produire les démarrages prompts et faciles des trains en arrêt, quand il faut attaquer franchement les fortes rampes quand il faut franchir les courbes prononcées, etc., etc.

Après avoir fait ressortir les grandes qualités de ce type, il y a cependant lieu d'observer qu'en principe, il ne saurait être classé dans la catégorie des machines économiques, si on le considère au point de vue de la consommation de la vapeur. Cela tient au degré trop limité de la détente dans les cylindres et à différents inconvénients inhérents aux organes de vaporisation, tel par exemple que celui résultant d'une surface de grille trop faible par rapport au charbon brûlé, etc.

Il s'en suit naturellement que la consommation de charbon par cheval et par heure est relativement beaucoup trop considérable si on la compare à celle de la machine du type *compound ordinaire.*

Dans ce type de machine, la vapeur est admise par fraction dans le petit cylindre, de diamètre un, où elle subit une première détente. Lorsqu'elle s'échappe, elle se rend dans un grand cylindre, de diamètre deux, où elle complète sa détente commencée seulement dans le premier cylindre. La vapeur s'en va ensuite au condenseur ou dans l'atmosphère.

Bien que le calage des manivelles à angle droit ait pour conséquence directe d'intercepter l'admission dans le grand cylindre bien avant la fin de la phase d'échappement dans le petit, et qu'il en résulte dans ce dernier des compressions se répétant à chaque coup de piston, la disposition de la machine compound ordinaire, permettant une détente très prolongée de la vapeur, n'exige qu'une consommation très faible de charbon par cheval et par heure.

Il est donc constaté qu'une machine compound ordinaire, avec petit et grand cylindre, est essentiellement économique. Seulement cet avantage n'est obtenu qu'en portant préjudice aux conditions essentielles de la puissance maximum de la machine, et en présentant le très grave inconvénient d'un démarrage lent et difficile, etc., etc.

Malgré cela, et afin de rendre la machine locomotive plus économique dans sa marche normale, on a tenté, plusieurs fois déjà, de la transformer en compound ordinaire, en grossissant l'un des cylindres. Des difficultés assez sérieuses de construction ont empêché jusqu'à ce jour de généraliser cette transformation.

2. — *Considérations ayant présidé à l'établissement du type* « compound français ». — En suivant l'ordre d'idées de l'article ci-dessus, et en maintenant d'une manière stricte les principes fondamentaux qui régissent les deux types

examinés dans cet exposé, on a été amené à créer un type de machine à vapeur accouplée, entièrement nouveau, à deux cylindres d'égal diamètre, que nous avons désigné sous le nom *type compound français.*

Dans ce système, les deux avantages dont il a été question ci-dessus, comme représentant les desiderata d'une bonne machine, c'est-à-dire possibilité de produire facilement la puissance maximum et possibilité de marcher économiquement se trouvent réunis et liés l'un à l'autre.

Il en résulte que le type *compound français* appliqué d'une façon judicieuse et pratique, non seulement aux machines locomotives mais aussi aux moteurs fonctionnant dans l'Industrie, est appelé à réaliser le complément tant cherché de la machine à vapeur actuellement en usage.

Indépendamment de l'application de ce nouveau type aux machines nouvelles, il peut encore être employé dans les machines existantes de terre et de mer moyennant une transformation très facile et très simple, à la condition que ces machines disposent de deux cylindres de diamètres égaux, avec manivelles calées à angle droit, et que la distribution de vapeur soit unique pour les deux cylindres.

Toutes les machines remplissant ces conditions, et notamment la grande majorité des locomotives actuellement en service, pourront, par une transformation simple et facile en type *compound français*, bénéficier largement des avantages économiques de ce système, sans perdre, comme avec les machines compound ordinaires, la faculté de pouvoir mettre éventuellement leur force maximum en évidence.

Ceci posé, nous allons entrer dans l'étude raisonnée du type *compound français.*

II. — DESCRIPTION DU TYPE « COMPOUND FRANÇAIS »

3. — *Machine fixe.* — Avant d'étudier l'application du système aux locomotives, nous allons décrire une machine fixe accouplée, établie en *compound français*, et représentée fig. 1 à 5, pl. 151-152.

Nous voyons dans ce plan :

Fig. 1, une coupe transversale suivant la ligne 1-2 de la fig. 3 ;
Fig. 2, une coupe transversale suivant la ligne 3-4-5-6 de la fig. 3 ;
Fig. 3, une vue en-dessus de la machine, l'un des cylindres étant coupé ;
Fig. 4, une coupe transversale suivant la ligne 7-8 de la fig. 3 ;
Fig. 5, un plan partiel par l'axe de la boîte à vapeur.
Dans ces diverses figures, les lettres ont les significations suivantes :

A, Cylindre du côté droit ; (1)
A', Cylindre du côté gauche ;
B, Boîte chargée de distribuer la vapeur venant de la chaudière ;
b, *b'*, *b''*, *b'''*, Lumières d'introduction ;
C, Soupape de prise de vapeur ;
c, Tiroir en bronze de la boîte B ;
d, Tige du tiroir *c* ;
F_1, Tuyau amenant la vapeur de la chaudière dans la soupape C ;
e, Tuyau d'introduction du cylindre A ;
e', Tuyau d'introduction du cylindre A' :
f, Tuyau d'échappement du cylindre A ;
f', Tuyau d'échappement du cylindre A' ;
F, Tuyau permettant à la vapeur de s'échapper dans l'atmosphère ou au condenseur ;
g, *g'*, Leviers d'attaque du tiroir C ;
h, Tringle réunissant le levier *g'* au levier à contrepoids *h'*;
h', Levier à contrepoids actionné par H :
H, Grand levier à manette commandant le tiroir *c* par l'intermédiaire des pièces *h'*, *h*, *g'*, *g*, *d* ;
i, Secteur guidant la marche du levier H ;
K, Levier ordinaire de changement de marche de la machine.

Ceci posé, mettons le levier de changement de marche K, soit en I, position correspondant à la marche de la machine dans un certain sens, soit en I', position assurant la marche en sens contraire.

Si nous ouvrons la soupape C, la vapeur de la chaudière arrivera par le tuyau F_1, dans la boîte de distribution B.

Supposons qu'en ce moment, il y ait nécessité de fournir un travail maximum en marchant à double admission, c'est-à-dire en laissant arriver alternativement la vapeur de la chaudière dans chacun des deux cylindres A, A'.

Il n'y aura qu'à laisser le levier H dans la position représentée fig. 1, laquelle assure aux leviers *h'*, *h*, *g*, *g*, à la tige *d* et au tiroir *c* les positions indiquées dans la dite figure.

La vapeur trouvant libre les lumières *b*, *b'*, s'introduira par ces orifices dans les tuyaux *e*, *e'*, pour aller alternativement dans les cylindres A, A', suivant la demande de leurs tiroirs respectifs ; et, après travail dans chacun de ces cylindres, elle s'échappera par les tuyaux *f*, *f'*, les orifices *b''*, *b'''*, et le tuyau F.

Dans ces conditions, la machine admettant la vapeur à haute pression dans

1. *Observation:* Pour des vitesses de piston au-delà de 2 mètres par seconde, il y a lieu d'appliquer sur les couvercles d'avant et d'arrière du cylindre à haute pression A des petites soupapes de décharge en communication avec la boite du tiroir.

les deux cylindres, il y a production de la force maximum que la machine peut fournir. Notre disposition permet donc d'obtenir ce résultat, qui, comme nous l'avons fait observer au paragraphe premier, présente de sérieux avantages surtout dans les locomotives.

Examinons maintenant la marche économique de la machine considérée, à laquelle on arrive en amenant brusquement le levier H dans la position H'.

Il est facile de voir que cette manœuvre, des plus simples du reste, déplace le tiroir *c* dans le sens de la flèche (fig. 1); et cet organe s'arrête quand il vient buter contre le taquet *t*.

A ce moment, la lumière *b'* de la boîte B est mise en communication avec la lumière *b''*, tandis que celle *b'''* est entièrement fermée par le tiroir *c*.

Il s'en suit que la vapeur à haute pression venant de la chaudière ne passe plus que par la lumière *b*. Elle se rend alors, par le tuyau *e*, dans le cylindre A que nous appellerons dans ce cas cylindre à haute pression. Elle y effectue son travail et s'échappe ensuite par le tuyau *f*. qui la conduit par la lumière *b''* sous la coquille du tiroir *c*, laquelle la met en communication avec l'orifice *b'*.

La vapeur passe alors par le tuyau *c'* qui la conduit au cylindre A' où elle travaille à basse pression pour s'échapper ensuite par le tuyau *f'*, par l'orifice *b'''*, et, enfin, par le tuyau d'échappement final F.

Dans ces conditions, caractérisées par la nouvelle position du tiroir *c*, la machine marche à simple admission dans le cylindre A, qui reçoit seul de la vapeur à haute pression. Après y avoir effectué son travail, cette vapeur se rend dans le second cylindre A', où elle agit à basse pression, pour s'échapper ensuite comme à l'ordinaire.

III. — MARCHE DE LA MACHINE DU TYPE « COMPOUND FRANÇAIS », AU POINT DE VUE DES EFFETS PRODUITS PAR LA VAPEUR.

4. — *Observations sur les conditions de compression.*—Si on fait le vide dans un vase contenant de l'eau, il se dégage de la vapeur, qui revient ensuite à l'état liquide aussitôt que le vide vient à disparaître, et sans pour cela produire un travail externe.

Dans le type « compound français », la vapeur venant de la chaudière pour se rendre dans le cylindre à haute pression A, entraîne toujours avec elle une certaine quantité d'eau, qui, par parenthèse, est assez considérable dans les locomotives.

Il vient s'ajouter à cette eau d'entraînement, celle qui se produit par condensation pendant l'admission.

Toute cette eau est forcément obligée de se transformer en vapeur pendant la

détente, d'après le principe énoncé ci-dessus. Toujours d'après ce même principe, il se produit, pendant la période de compression, une nouvelle condensation de cette vapeur, ce qui diminue dans une mesure considérable le travail négatif du cylindre à haute pression.

Pour que ce résultat soit obtenu, il faut évidemment que les orifices et les conduits de vapeur ne soient pas assez exigüs pour faire naître des compressions anormales et réagir contre les effets ci-dessus spécifiés.

5. — *Examen du travail de la vapeur dans la machine du type « compound français », pendant la détente dans le cylindre A (haute pression).* Prenons comme exemple une locomotive transformée, en marche avec admission simple au cran de 50 %, le degré de détente qui suit cette admission étant d'environ 30 %, et les deux cylindres étant réglés de la même façon comme admission et comme détente.

Nous ferons observer en passant que nous choisissons ce degré à détente pour faciliter les calculs et les rendre plus saisissables, bien que le dit degré de détente soit le moins favorable.

Prenons le piston du cylindre à haute pression A au milieu de sa course, c'est-à-dire au commencement de la période de détente ; le piston du cylindre à basse pression A' se trouve en ce moment à son point mort.

Le piston A a devant lui un volume de vapeur d'une demi-cylindrée (50 %), en communication avec le tuyau *f* dont le volume égale une cylindrée (100 %), et avec le cylindre A' dont l'admission vient d'être ouverte.

Pendant la période de détente dans le cylindre A (30 %), le piston A' n'a parcouru que 10 % environ de sa course.

Le volume de vapeur agissant à la fois devant le piston A et à l'arrière du piston A' était donc, au commencement de la détente en A représenté par $50 + 100 = 150$; et il est devenu après les 30 % de détente en A et les 10 % d'avance en A' : $50 + 100 - 30 + 10 = 130$. La diminution du volume de la vapeur considérée est donc de $150 - 130 = 20$ %.

Si donc, on pouvait dans l'espèce appliquer la loi de Mariotte, on constaterait, par le fait de la diminution de volume en question, une compression de $\frac{20}{150} = 13$ %, qui se ferait sentir à l'avant du piston A.

Mais, d'après ce que nous avons exposé à l'article 4, la période de compression du piston A provoque dans la masse de la vapeur des condensations qui viennent diminuer sensiblement la compression.

Nous sommes donc fondés à dire que la compression en avant du piston A n'est pas même de 13 %, ce qui constitue un travail négatif absolument négligeable.

D'ailleurs, les conditions dans lesquelles s'effectue cette compression en atténuent encore l'effet, si même elles ne le suppriment pas presque absolument.

Remarquons en outre que la compression commence avec la détente dans le cylindre A, c'est-à-dire au milieu de la course du piston. Or, à ce moment, le piston en question, sa tige, la crosse, le corps de la bielle, sont en pleine vitesse; et ces différents organes entrent dans la demi-course où ils doivent éteindre cette vitesse pour commencer une course en sens contraire.

La faible compression exigée en avant de A par le jeu des pistons sera donc amplement fournie par la force vive accumulée dans tous les organes du cylindre A (*haute pression*) en mouvement alternatif. Or, la compression en question se transmet naturellement à l'arrière du piston A' (*basse pression*) actuellement à son point mort, et concourt ainsi à sa mise en route et à celle des organes auxquels il est relié.

On voit donc, chose aussi remarquable qu'avantageuse, la force vive des organes du cylindre A communiquer en s'éteignant, celle, dont ont besoin les organes du cylindre A' pour leur mise en route; et cela, à chaque pulsation. Il est bon de remarquer que ce fait est le résultat de la marche spéciale du type « compound français », les manivelles étant calées à angle droit.

Nous avons chiffré le bénéfice résultant de ce que nous appellerons la « transmission des forces vives de A en A' », dans les locomotives à grande vitesse; et nous avons eu la satisfaction de constater que ce bénéfice est très sérieux.

En résumé, tout ce qui vient d'être dit sur la compression, d'ailleurs très faible, qui se produit à l'avant du piston A (*haute pression*), nous montre qu'elle ne peut être nuisible à la marche régulière et économique en « compound français »; et la pratique a par ses résultats constatés, justifié pleinement les prévisions théoriques.

6. — *Examen du travail de la vapeur, dans la machine du type « compound français », pendant la détente dans le cylindre* A' (*basse pression*). — Nous avons vu plus haut ce qui se produit dans le cylindre A (*basse pression*) pendant sa période de détente. Examinons maintenant ce qui se passe dans le même cylindre pendant la période de détente dans le cylindre A' (*basse pression*), au point de vue de la compression produite sur la face d'avant du piston A.

Dans l'hypothèse que nous avons admise, cette détente commence au milieu de la course du piston A', et dure pendant 30 % de cette course.

Or, pendant que la détente en question se produit, le piston A (*haute pression*) n'avance que d'une quantité égale à 10 % de sa course.

Au début de la détente en A', la communication entre ce cylindre et le tuyau *b* étant interceptée par le tiroir, tandis que l'avant du piston A se trouve en communication avec le dit tuyau, le volume de vapeur exerçant sa pression en avant de A est égal à 100 % (volume de la cylindrée A) + 100 % (volume du tuyau *b*) = 200 %.

Le volume à la fin de la compression en avant de A, devient, par suite de la course du piston A (10 %) : 200 — 10 = 190 %.

Il en résulte alors une compression de $\frac{10}{200} = \frac{1}{20}$ qu'a dû produire le piston A à sa face avant.

Si les observations que nous avons présentées à l'article 4 ne venaient encore nous prouver que cette compression de $\frac{1}{20}$ ne se trouve même pas produite en réalité, la faiblesse de la valeur de cette compression la ferait rentrer dans la catégorie des effets absolument négligeables.

La contre-pression, dans le type « compound français », n'est donc aucunement à redouter dans tous les points d'une révolution complète de la manivelle.

IV. — COMPARAISON DU TRAVAIL DE LA MACHINE « COMPOUND FRANÇAIS » AVEC LA MACHINE COMPOUND ORDINAIRE.

7. — *Dans la machine compound ordinaire, les pistons sont ordinairement dans le rapport de* 1 *à* 2 *comme diamètres, et, par suite, de* 1 *à* 4 *comme sections et comme volumes engendrés.*

Dans ces conditions, par le fait même de son transvasement, la vapeur perd forcément la majeure partie de sa force expansive, puisqu'elle passe, en allant du premier cylindre dans le second, d'un volume 1 dans un volume 4.

La dépréciation ainsi produite en avant du piston à haute pression, en diminuant d'autant la compression fournie par ce piston, atténue bien les effets négatifs de cette compression et représente par suite un bénéfice ; mais ce dernier est trop chèrement acheté par la perte occasionnée dans la force disponible de la vapeur et dans le travail qu'elle pouvait produire avant la dépréciation considérée.

La supériorité du type *compound français*, au point de vue de la bonne utilisation de la vapeur, résulte précisément de ce que la vapeur ne perd aucunement sa force expansive en passant d'un cylindre dans un autre de même diamètre.

Il se produit bien à l'avant du cylindre à haute pression une compression que nous avons chiffrée au paragraphe précédent ; mais le travail négatif d'ailleurs très faible, qui en résulte n'est que peu de chose comparativement au bénéfice qui résulte de la conservation de la tension de la vapeur.

V. — APPLICATION DU TYPE « COMPOUND FRANÇAIS » AUX LOCOMOTIVES.

8. — *Dispositions auxquelles conduit cette disposition.* — La même planche 151-152 représente une machine locomotive à grande vitesse transformée en *compound français*, figures 6 à 11.

La première disposition permet :

1° La marche avec double admission dans les deux cylindres, pour produire quand cela est nécessaire le travail maximum ;

2° La marche avec simple admission soit dans le cylindre A et détente dans le cylindre A', soit *vice versa*, les deux correspondant à la marche normale.

Le compound français à triple effet comprend donc :

1° La marche avec double admission dans les deux cylindres ;

2° La marche avec admission en A et détente en A' ;

3° La marche avec admission en A', et détente en A.

Cette seconde disposition, tout en n'étant pas indispensable, a l'avantage de permettre de changer le travail des cylindres A, A', pour régulariser l'usure produite sur les organes en mouvement par l'action inégale de la vapeur dans les cylindres.

Sans être d'un ordre excessivement élevé, cet avantage n'est pas sans intérêt, étant donné qu'il est obtenu à l'aide d'un changement peu coûteux dans la disposition première.

9. — *Première observation sur le type* compound français *appliqué aux locomotives.* — La disposition en *compound français* dans les locomotives, est en principe la même que celle de la machine fixe décrite plus haut. Mais, un détail dans l'établissement des tuyaux *e*, *e'*, *f*, *f'* présente un avantage spécial qui n'est pas sans importance.

Ces tuyaux, en effet, traversent la boîte à fumée, où des gaz à 350° les enveloppent en revaporisant l'eau entraînée par la vapeur, et celle qui s'est produite pendant le passage de cette vapeur dans le cylindre A.

Il y a de ce chef une énergie supplémentaire communiquée à la vapeur, laquelle représente un bénéfice d'autant plus sérieux qu'il est obtenu absolument gratuitement.

10. — *Deuxième observation sur les dispositions du* compound français *appliquées aux locomotives.* — Une machine locomotive transformée en compound français, ne donne par révolution d'une manivelle, quand on marche à admission simple, que deux coups d'échappement au lieu de quatre fournis en marche ordinaire.

L'appel d'air à travers le foyer se répétant moins souvent, il était à craindre que la constance de la pression dans la chaudière fût plus difficile à obtenir. Il n'en n'a rien été ; et les résultats pratiques obtenus jusqu'à ce jour démontrent que la chaudière fournit facilement la vapeur à une pression uniforme quelle que soit la durée de la marche en *compound français.*

Cela s'explique par les considérations suivantes :

La marche en *compound français* ne s'employant qu'en vitesse normale, la quantité de vapeur nécessaire est moindre que pour la période de travail maximum tels que démarrages, etc., pendant lesquelles on obtient la double admission.

De plus, la vitesse même de la locomotive aide alors puissamment au tirage.

Enfin, la transformation en *compound français* permettant de réaliser une économie de 17 à 22 %, la grille se trouve moins fatiguée que dans les machines ordinaires.

Elle produit la vaporisation moindre qui lui est demandée sans qu'il soit nécessaire d'activer aussi énergiquement le tirage que dans les types ordinaires.

VI. — RÉSULTATS OBTENUS JUSQU'A CE JOUR AVEC LES MACHINES EN COMPOUND FRANÇAIS.

11. — *Après de longs mois d'expériences, tant en France qu'à l'Etranger, sur une série de machines à marchandises, à voyageurs, à grande vitesse, transformées en* compound français, *on a pu constater une économie de* 10, 12, 17 *et* 22 % *suivant les cas, sur le charbon consommé en service régulier.*

Le rapport de M. Middelberg, directeur du service des machines aux chemins de fer Hollandais, en témoigne d'une façon catégorique[1].

On a constaté en effet :

1° Que la transformation en question ne changeait rien au travail fourni par une double admission dans les cas où celle-ci devient nécessaire : démarrages, attaques de fortes rampes, etc.

2° Que la marche en *compound français* n'empêchait nullement le maintien de la pression dans la chaudière.

3° Que le *lacet* résultant de l'action transversale de l'inertie sur les deux jeux de pièces en mouvement alternatif se trouve sérieusement atténué.

Ces avantages secondaires viennent encore s'ajouter à l'avantage principal relatif à l'économie et à celui permettant de fournir : soit un travail normal, en marchant à simple admission ; soit un travail maximum, en employant la double admission.

1. Voir la traduction dudit rapport à la fin de ce mémoire, page 219.

VII. — COTÉ ÉCONOMIQUE DES APPLICATIONS DU TYPE « COMPOUND FRANÇAIS. »

12. — *Transformation des Locomotives.* — Admettons qu'une série de 100 machines locomotives doive être transformée en *compound français.*

D'après devis détaillé, le coût de premier établissement, montage compris, est d'environ 1 500 francs.

Selon l'usage admis dans les Compagnies de chemin de fer, cette somme est amortissable dans l'espace de 10 ans. Elle occasionne donc annuellement une

dépense de	150 fr.
à laquelle il convient d'ajouter un intérêt annuel de 5 %	75 »
et, pour entretien, divers, etc.	25 »
Ce qui fait une dépense annuelle de	250 fr.

pour chaque machine.

Le bénéfice que retire chaque année la compagnie pour une machine transformée en *compound français* s'établit de la façon suivante :

Le parcours moyen d'une machine en service régulier est d'environ 3 600 kilomètres par mois. A raison de 10 mois de service sur 12, cela fournit un parcours annuel de 360 000 kilomètres.

En admettant une consommation effective moyenne de 10 kilogrammes de charbon par kilomètre, la consommation par machine et par an est de 360 tonnes.

D'après les résultats obtenus tant en France qu'à l'Étranger, le coëfficient moyen d'économie est d'environ 17 %, dans les machines marchant en *compound français.*

L'économie de charbon se chiffre donc par 62 tonnes, qui, à 20 francs l'une représentent la somme de 1 240 francs.

En déduisant de cette somme la dépense d'entretien et d'amortissement établie ci-dessus, soit 250 francs ; il restera par machine, un bénéfice annuel de 1 000 francs.

Le prix coûtant de la transformation étant payable en deux annuités, la Compagnie retirera déjà dès la première année un bénéfice de 250 à 300 000 francs.

13. — *Bénéfices qui pourraient être réalisés si toutes les locomotives actuellement en service étaient transformées en* compound français.

On estime à environ 100 000, le nombre des locomotives actuellement en service dans le monde entier.

Si toutes ces machines se trouvaient transformées en *compound français,* l'économie qui en résulterait se chiffrerait de la façon suivante :

Pendant les deux premières années à raison de 300 francs par machine, 30 000 000 de francs.

Les années suivantes : 100 000 000 de francs.

14. — *Application du « type compound français » à toutes les machines.* — Puisque les dimensions et dispositions des divers organes de ce nouveau type peuvent varier sans changer le principe fondamental qui le caractérise, on conçoit fort bien que le système en question puisse être appliqué avec fruit à toutes les machines de terre ou de mer autres que les locomotives.

Les bénéfices qui pourraient résulter de la transformation en « compound français » de toutes les machines auxquelles ce système est applicable ne peuvent malheureusement pas se chiffrer d'une façon même approximative.

VIII. — RÉPONSE A QUELQUES OBJECTIONS AU SUJET DE L'APPLICATION DU TYPE « COMPOUND FRANÇAIS » AUX LOCOMOTIVES

15. — *Séparation des distributions dans les deux cylindres.* — On a émis l'opinion que la séparation des distributions dans les cylindres est une des conditions essentielles pour obtenir une marche économique en compound français avec admission simple.

Cette opinion n'est nullement justifiée, ainsi que le prouve l'examen analytique que nous allons présenter.

La séparation des distributions de vapeur entraîne l'adjonction aux organes de commande existants, d'un deuxième arbre de relevage, d'une bielle de suspension, d'un levier avec secteur et mouvement à vis ; et cette séparation a pour objectif de permettre la réglementation indépendante des admissions de la vapeur dans les deux cylindres.

Supposons que nous ayons, dans une machine combinée de cette façon, et transformée en compound français, réglé l'admission dans le cylindre à haute pression à 50 % et celle dans le cylindre à basse pression à 80 %.

En construisant une épure, on observe le résultat final suivant :

Le piston du cylindre à basse pression A', au lieu d'intercepter l'admission à 50 % de sa course, avance encore de 30 % avec admission. Or, pendant ce parcours de 30 % le piston A (*haute pression*), partant de son point mort n'a parcouru que 10 %.

Au commencement de la détente dans le cylindre A', le volume de vapeur contenu dans le cylindre A, en avant de son piston, dans le tuyau *f*, et dans le cylindre A', à l'arrière du piston, peut donc être représenté par $100 + 100 + 80 - 10 = 270$ % d'une cylindrée.

Mais, dans le cas d'une admission de 50 % dans le cylindre A', correspondant à la marche avec admissions non séparées dans les deux cylindres, ce volume de

vapeur serait au commencement de la détente en A' : 100 + 100 + 50 = 250.

Les admissions séparées n'ont pour effet que de diminuer la compression en avant de A dans le rapport entre 270 et 250, c'est-à-dire de 7,4 %, ce qui est insignifiant.

Si on met en parallèle avec ce léger bénéfice, la perte qui résulte de la diminution de la détente dans le cylindre A', on n'a pas de peine à se convaincre de l'inutilité des admissions séparées. Et comme cette dernière disposition entraîne un supplément d'organes pour commander les distributions séparément, ce qui augmente le prix de revient de la transformation d'une locomotive en compound français, cette dernière considération vient encore s'ajouter aux précédentes pour condamner le système des admissions séparées.

Nous sommes donc en droit de répondre à la première observation que nous venons de présenter :

Les distributions non séparées formant la base du système « compound français » remplissent d'une manière tout à fait satisfaisante toutes les conditions exigées pour une marche rationnelle et économique d'une machine.

16. — *Observation sur la qualification d'atténuante qui a été donnée aux machines transformées en compound français.* — Nous allons maintenant démontrer non moins clairement que cette qualification d'atténuante repose également sur une appréciation erronée des faits.

Il y a lieu de remarquer tout d'abord que toutes les machines locomotives ordinaires sont en principe atténuantes, en ce sens qu'elles peuvent, suivant les résistances à vaincre, admettre la vapeur à des degrés différents variant entre 80 et 10 % de la course des pistons.

La machine transformée en « compound français », par l'adjonction d'une boîte à vapeur de construction spéciale, présente identiquement les mêmes avantages.

Si nous comparons les deux types en marche normale, au double point de vue du poids de la vapeur agissant sur les deux pistons, et de celui enlevé à la chaudière pour chaque révolution, nous arrivons aux résultats suivants :

Dans la machine ordinaire à double admission, la marche normale correspond à une admission de 30 % dans les deux cylindres.

La vapeur, à 10 kilogrammes, a une densité de 5, qui nous donne pour la vapeur agissant sur les deux pistons : $2 \times 30 \times 10 \times 5 = 3000$ unités de poids par demi-révolution.

Supposons maintenant la machine en question transformée en compound français ; sa marche normale correspond à une admission de 45 % dans un seul cylindre.

Le poids de la vapeur travaillant dans le cylindre à haute pression sera dans ce cas :

$$1 \times 45 \times 10 \times 5 = 2250 \text{ unités.}$$

Mais cette vapeur se détend de 35 % dans le cylindre A, ce qui donne une première finale de :

$$45 \times 10 = (45 + 35)\, x$$

$$x = \frac{45 \times 10}{45 + 35} = 5.^{k}6$$

correspondant à une densité de 3.

Nous aurons donc, comme vapeur agissant en A' ;

$$1 \times 45 \times 5{,}62 \times 3 = 758 \text{ unités.}$$

Le poids total de la vapeur agissant dans les deux cylindres en compound rançais est donc de :

$$2250 + 758 = 3008 \text{ unités}$$

et ce chiffre est sensiblement égal à celui de la vapeur admise en travail dans la machine ordinaire.

Mais, au lieu d'introduire par demi-pulsation le volume de vapeur représenté par $2 \times 30 = 60$, qui nous a été nécessaire dans la machine ordinaire ; nous n'avons pris à la chaudière qu'un volume représenté par 45.

Il y a donc, dans le compound français, économie de $15/60 = 25$ % sur la consommation de la vapeur, dans la machine ordinaire, sans pour cela que le poids de la vapeur agissant dans la machine soit moindre.

Ces chiffres ont leur éloquence, et font voir clairement que la marche normale en « compound français » n'est nullement atténuante.

ESSAIS SUR UNE APPLICATION SPÉCIALE DE COMPOUND

aux machines locomotives existantes

PAR

G.-A.-A. MIDDELBERG

DIRECTEUR DES MACHINES DES CHEMINS DE FER HOLLANDAIS, D'AMSTERDAM

TRADUCTION DE A. DE LANDSÉE

Dans les anciennes théories sur les machines à vapeur, on ne tenait nullement compte de l'influence des parois des cylindres, c'est-à-dire que l'on n'admettait pas que les dites parois puissent donner lieu soit à une soustraction, soit à une addition de chaleur ; mais aujourd'hui, par contre, il n'existe plus de doute sur ce que, à chaque admission de vapeur dans un cylindre, et tout particulièrement pour les vapeurs à très haute pression, des pertes considérables de vapeur se font sentir et sont soustraites des vapeurs d'admission.

S'il était possible de garnir l'intérieur d'un cylindre avec un corps qui serait mauvais conducteur de la chaleur ou même de construire ce cylindre avec une matière analogue, l'effet obtenu serait bien plus important que celui que donnent les enveloppes actuellement en usage ; et les économies, en vapeur et en combustible, laisseraient bien loin derrière elles tous les résultats obtenus jusqu'à ce jour.

Le succès des machines compound, ainsi que celui des machines dites à triple expansion, est justifié en grande partie par la diminution de la condensation dans les cylindres.

Pour la machine locomotive, qui est une machine dont la vapeur travaille à une pression initiale de 10 à 12 atmosphères et qui, par suite de cela, présente une grande différence de chaleur entre la vapeur d'admission et celle de l'échappement, cette condensation devra naturellement être considérable.

Je n'ai pas connaissance d'essais récemment faits pour mesurer cette conden-

sation dans les cylindres et surtout d'essais se rapportant à des pressions de 10 atmosphères et plus ; pressions admises actuellement à peu près partout et j'aurai à mentionner plus loin les essais que j'ai faits moi-même sur cette question.

Pambour, lors de ses célèbres essais, trouvait, en comparant la quantité d'eau prise dans le tender à la quantité de vapeur résultant du calcul des diagrammes relevés sur les cylindres, une perte de 24 %, valeur moyenne.

Bauschinger calcule, en s'appuyant sur la forme de la ligne d'expansion de ses diagrammes, qu'à la fin de chaque phase d'admission, il se trouve 35 à 42 parties du poids de 100 parties d'eau, et encore la pression initiale de la vapeur de la chaudière ne dépassant pas 7 atmosphères.

Le Çhatelier trouvait qu'une machine locomotive munie du système Meyer donnait 38 à 50 % de vapeur condensée pour une expansion de 1 à 5.

Bertera et Polonceau trouvaient pour une expansion de 1 : 4 une perte de vapeur moyenne de 52 %, tandis que pour celle de 1 : 3 elle était de 42 %. Vu la vaporisation rapide, une partie devra naturellement être mise sur le compte de la quantité d'eau entraînée. Je n'ai pu me procurer des renseignements exacts à ce sujet.

Ces renseignements donneraient d'ailleurs lieu à des essais assez difficiles à établir. Ce que nous savons c'est que, dans les chaudières ordinaires à vaporisation modérée, disposant d'une surface de chauffe convenable et de grands espaces pour emmagasiner la vapeur, conditions qui n'existent pas sur les machines locomotives, la quantité d'eau entraînée ne dépasse pas 4 %, d'après des essais très importants faits à cet égard.

En admettant pour les machines locomotives une quantité beaucoup plus grande d'eau entraînée, il restera néanmoins encore une partie considérable à porter sur le compte de la condensation précitée dans les cylindres.

Plusieurs essais très exacts et très concluants ont été faits pour déterminer le degré de condensation dans les cylindres des machines fixes. Pour les machines locomotives, ces essais seront toujours très difficiles à faire, car il faudrait, pendant la durée d'au moins deux heures, au milieu d'un service régulier d'exploitation, établir une allure régulière, donner pendant ce temps toujours le même degré d'admission, maintenir en permanence la même pression de vapeur dans la chaudière et empêcher les pertes par les soupapes. Ce n'est qu'à ces conditions, qui sont impossibles à réaliser, qu'un résultat avantageux pourrait être obtenu.

Hirn trouvait pour une machine sans enveloppe, pression de 5 atmosphères, une perte de vapeur de 60 %, dont 4 1/2 % sont attribués comme eau entraînée de la chaudière; sur une machine de dimensions beaucoup plus grandes, cette perte était de 30 %.

Je fais encore mention des essais faits tout récemment à Sandy-Hook, Connecticut, E. U. d'Amérique.

La formule du professeur Thurston pour déterminer la condensation est :

$$= a\sqrt{\frac{1}{r}}$$

où r représente le degré d'admission et a une constante. Cette formule a été reconnue, en principe, comme étant vraie.

Pour la valeur a, avec les cylindres sous enveloppe, on a trouvé :

$$0.174 - 0.199.$$

Pour déterminer l'influence de la pression de la vapeur sur le degré de condensation, pour des admissions égales à des vitesses invariables, nous avons trouvé :

DIFFÉRENCE de la pression initiale et finale de la vapeur pendant l'admission et l'échappement	QUANTITÉ d'eau condensée dans un laps de temps déterminé	QUANTITÉ d'eau à la fin de l'admission par rapport à la quantité totale d'eau consommée	QUANTITÉ d'eau évaporée pendant la phase de détente	QUANTITÉ d'eau disponible à la fin de la course du piston
Admission 0,21 % — 6	354 k.	35,24 %	11	34,24 %
5	304	47,83	14	33,83
4	222	36,84	11	25,84
3	116	41,43	20	21,43
2	72	41,19	24	17,19

Le changement de vitesse, en maintenant cependant la pression de la vapeur à 3 atmosphères, ainsi que le degré d'admission (0,96), donne les résultats suivants :

NOMBRE DE COURSES du piston par minute	QUANTITÉ D'EAU à la fin de l'admission par rapport à la quantité totale d'eau consommée
63	24,37 %
50	28,75
34	33,51

Quant aux essais, faits par M. le professeur Kennedy à l'University College, sur une machine compound sans enveloppe, on a trouvé les chiffres suivants :

PRESSION de la vapeur au moment de l'admission	RAPPORT de l'expansion	QUANTITÉ d'eau à la fin de l'admission dans le cylindre à haute pression par rapport à la quantité totale d'eau consommée	QUANTITÉ d'eau à la fin de l'échappement dans le cylindre à basse pression par rapport à la quantité d'eau consommée	QUANTITÉ d'eau réévaporée
2 2/3 atmosph.	3,23	48,5 %	15,0 %	33,5 %
6 »	3,00	40,3	8,8	31,5
6 »	6,64	55,3	16,6	38,7
6 1/3 »	8,25	63,1	18,0	45,1

Des essais analogues ont été faits déjà plusieurs fois et toujours avec le même succès.

La condensation de la vapeur pendant la phase de l'admission représente toujours une perte assez considérable ; perte qui, même avec la meilleure distribution existante, ne peut être regagnée. Toutes les tentatives ayant pour but d'arriver à réduire cette condensation dans les cylindres d'une machine à vapeur sont donc parfaitement justifiés.

En général, l'emploi des machines compound est donc à considérer comme un pas en avant notable. Cependant cet emploi, en ce qui concerne les machines locomotives, est bien limité et les dépenses relativement énormes qu'entraînerait son application aux machines existantes, dépenses nullement en rapport avec les bénéfices résultant de l'économie à réaliser, ont fait que, jusqu'à présent, on n'a pensé à l'appliquer qu'aux machines nouvellement construites.

Je m'empresse d'ailleurs d'ajouter que le dernier mot n'a pas encore été dit sur cette question, et, si l'on considère l'économie de sommes énormes qui s'y rattache, on comprendra que pour arriver à un résultat satisfaisant, il faut que cette question soit étudiée avec plus de soin qu'elle ne l'a été jusqu'à ce jour.

Pour donner suite à cette grave question de l'adaptation du système compound à une série de machines locomotives, nous avons appliqué à quatre machines du chemin de fer hollandais, savoir :

2 machines à grande vitesse,
1 machine à voyageurs,
1 machine à marchandises,

une disposition qui permettait de donner de la vapeur dans un seul cylindre pour la faire échapper ensuite dans l'autre, en guise d'introduction, tout en maintenant éventuellement la faculté de marcher comme à l'ordinaire, c'est-à-dire avec les deux introductions séparément et échappement ordinaire.

L'expansion de la vapeur est par conséquent répartie dans les deux cylindres ; toute la différence de chaleur, entre la température de la vapeur, lors de son admission, et celle lors de son échappement, est de même séparée en deux parties distinctes et attribuée à chacun des cylindres ; ce qui permet de constater qu'une des conditions du système compound est remplie.

En ce qui concerne l'autre condition, qui est primordiale, elle n'est pas remplie ; c'est-à-dire que, par le fait des volumes inégalement répartis dans les cylindres, l'augmentation d'expansion n'a pas été obtenue. Il s'ensuit que la dénomination « compound » n'est pas admissible dans ce cas, et j'ai préféré appeler ce mode de distribution « admission simple » en opposition avec « l'admission double » de la marche habituelle.

Les dispositions que j'ai employées sont indiquées dans les dessins qu'accompagnent cette note (fig. 13 et 14) et sont les suivantes :

1° Il a fallu séparer le mécanisme de la distribution de la vapeur de manière à pouvoir donner des admissions de vapeur de différentes valeurs dans les deux cylindres. Après plusieurs essais, j'ai trouvé que cette séparation n'est pas absolument nécessaire, puisque, pour des admissions égales dans les deux cylindres, l'effet de l'expansion se répartit sur tous deux.

La compression dans le cylindre à haute pression atteint cependant alors une valeur qui porte préjudice à la puissance de la machine. Les dessins indiquent suffisamment les dispositions d'exécution que j'ai adoptées pour avoir une distribution séparée.

2° Comme dans les machines compound, un tuyau d'échappement du cylindre à haute pression a été placé dans la boîte à fumée, afin qu'il puisse éventuellement servir comme tuyau d'admission dans le cylindre à basse pression. Une disposition de tiroirs K (fig. 13 et 14) moyennant laquelle on peut donner soit admission simple, soit double.

Ces dispositions permettent au mécanicien de conduire la machine d'après la manière ordinaire ou donner, suivant besoin, une admission simple. Cette dernière disposition qui peut être remplacée par celle de M. de Borriès, connue sous le nom de soupape de diminution de pression, avec cette différence cependant qu'une allure permanente de la machine ne pourra pas être obtenue, cette soupape étant uniquemment réservée pour le démarrage.

La boîte K avec le tiroir *n* (fig. 14) se trouve placée sur le côté droit de la machine sur la boîte à fumée, et le mouvement du tiroir est obtenu par la tige *k*.

Les tuyaux de vapeur dans la boîte à fumée communiquent aux orifices d'introduction de la boîte K. Le tuyau O (fig. 13 et 14) part du tuyau d'échappement du cylindre, aboutit à la boîte K, donne communication au-dessous du tiroir à coquilles, sort de la boîte K par un orifice *ad hoc* et aboutit par un tuyau, en passant à travers la boîte à fumée, au tuyau d'admission du cylindre à basse pression. Le volume de ce tuyau correspond à une cylindrée.

Les figures 16 et 17 représentent deux diagrammes d'une machine qui avait les dispositions décrites ci-dessus. Dans les deux cas, la distribution du cylindre à basse pression donnait une introduction de 3/4, tandis que celle du cylindre à haute pression donnait pour la première fois une admission de 0,35 et la deuxième fois de 0,25.

Des admissions plus grandes ont été exclues parce que la compression dans le cylindre à haute pression devenait trop grande et influençait de manière à réduire l'effet du travail utile de la machine.

Ainsi nous avons, depuis deux ans déjà, des machines munies d'un appareil en service continu. On peut dès à présent répondre à la question : Si l'effet inégal de la vapeur dans les deux cylindres ne produit pas une influence désavantageuse à son entretien ? et ensuite à la question : Si le degré de compression dans le cylindre à haute pression fait naître des secousses en augmente l'entretien dans les presse-étoupe ? ou enfin : Si à de grandes vitesses, pour lesquelles la distribution du cylindre à haute pression a été portée au degré d'admission maximum, la compression infime est encore suffisante pour permettre que le piston arrive, sans secousse, à son point mort et puisse le dépasser avec assurance dans le sens inverse ?

A toutes ces questions, nous pouvons répondre d'une manière tout à fait satisfaisante, puisqu'aucun inconvénient extraordinaire ne s'est produit par rapport à toutes les parties qui ont trait à ces questions.

En dehors d'une condensation très minime, qui ne peut être démontrée par le diagramme ci-joint, on trouve qu'à la suite du grand degré d'admission dans le cylindre à haute pression, une plus grande expansion a lieu et entraîne à sa suite une utilisation plus favorable de la vapeur.

Les figures 15, 16 et 17 représentent trois diagrammes. La première (15) correspond à l'entrée de la vapeur avec double admission dans les cylindres, et figures 16 et 17 l'admission double.

La force de traction pour ces deux cas, calculée d'après ces diagrammes, en omettant les résistances internes, et le tout réduit au contact des roues motrices, se trouve consignée dans le tableau suivant, en prenant pour base la consommation de vapeur pour chaque 1 000 kilogrammètres.

Sur ces diagrammes, la consommation de la vapeur est calculée, sans porter en compte la quantité d'eau contenue dans les cylindres, cela représente, par conséquent, simplement une valeur minimum théorique.

MODE DE TRAVAIL	1 (fig. 15) Double admission mode ordinaire	2 (fig. 16) Admission simple dans le cylindre à haute pression	3 (fig. 17) Admission simple dans le cylindre à haute pression
Travail en kilogrammètres par chaque course	7,320	9,988	7,320
Traction en kilogrammes	1,652	2,257	1,652
Dépenses de vapeur en kilogrammes pour 1000 kilogrammètres	0,0447	0,0353	0,0341

Il en résulte que l'effet de la vapeur, abstraction faite de la condensation moindre dans le cylindre à haute pression, n'est pas défavorable, au contraire, elle est même plus avantageuse comme mode ordinaire de travail.

Ces dispositions offrent des résultats favorables, à la condition que la machine locomotive fasse un service régulier, pendant un laps de temps continu et assez long et, de plus, que, en même temps, la force de traction nécessaire puisse être vaincue par l'admission simple, car des admissions plus grandes ne donneraient plus de résultats avantageux. Ainsi, une demi-admission dans le grand cylindre est bien la plus grande qui corresponde à un effet de travail ordinaire d'environ 0,20 admission.

Cette disposition permet en outre d'établir une preuve très exacte et certaine de la consommation de houille à travail égal dans les deux modes d'admission.

En effet, il nous a été possible de l'obtenir, car nous pouvions travailler avec la même locomotive dans les deux modes de marche. Une machine à marchandises et une à voyageurs, munies toutes deux de cette disposition, ont travaillé pendant plusieurs mois pendant 1886 et 1887 ; chaque mardi ces deux machines conduites par les mêmes mécaniciens prenaient les mêmes trains.

Le premier jour elles marchaient avec admission double dans les deux cylindres et le lendemain uniquement avec admission simple et continuaient en alternant chaque jour. La consommation de charbon était pesée exactement chaque soir.

La locomotive à voyageurs faisait le service moitié grande vitesse, moitié service de voyageurs, et celle à marchandises moitié avec wagons chargés et moitié légèrement chargés. Le mécanicien de cette dernière ne devait se servir de l'admission double que pour les rampes de 10 kilomètres de longueur.

Le mécanicien de la machine à voyageurs n'a dû, qu'une fois, pendant les

longs mois de son service, un jour de grande tempête, se départir de la règle prescrite.

Le tableau suivant donne les résultats de ces essais :

KILOMÈTRES parcourus	MODE d'admission de la vapeur	CONSOMMATION DE HOUILLE en kilogrammes totale	par train-kilomètre	CONSOMMATION en moins pour admission simple
a) MACHINE LOCOMOTIVE A VOYAGEURS, 2 ROUES ACCOUPLÉES :				$\frac{0,406 \times 0,558}{1,860}$
15.772	double admission	134 920	8,55	
14.952	simple	116.520	7,79	8,9 %
b) MACHINE A MARCHANDISES, 3 ROUES ACCOUPLÉES :				$\frac{0,457 \times 0,610}{1,41}$
5.702	double admission	69.080	12,11	
4.224	simple	45.960	10,88	10 %

Après avoir terminé ces essais, les machines sont rentrées dans le service ordinaire de l'exploitation.

Quoique les résultats obtenus aient été avantageux, il y a cependant à prendre en considération qu'en raison du prix de première installation qui s'élevait à environ 1700 marks par machine, on n'a pas pu procéder immédiatement à la transformation de toutes nos machines.

L'économie de combustible obtenue par l'emploi de cette nouvelle disposition est mise hors de doute, quoique suivant le cas elle pourrait être moindre comme elle pourrait être plus grande. Il se peut et nous avons l'espérance qu'à la suite de nos essais, la grave question relative à une utilisation plus rationnelle de la vapeur trouvera une solution — encore plus satisfaisante que celle décrite ci-dessus.

Au moment où je faisais mes essais, j'ai appris par hasard qu'un brevet anglais, en date du 27 septembre 1884, n° 12 904 poursuivait un but tout à fait analogue. L'inventeur est M. le baron de Landsée.

Je n'ai pas encore pu me procurer de données précises sur la réussite de cette application.

En résumé : Par l'application de cette nouvelle disposition, un succès absolu est assuré, à la condition cependant que la machine la reçoive dès la première construction ; car les dépenses pourraient y être comprises et ne varieraient que peu par rapport au coût de sa première acquisition.

Aussi, avons-nous commandé immédiatement quatre nouvelles locomotives chez M. Borsig, à Berlin.

Ces machines devront être munies de la nouvelle disposition du dérivé compound, et les résultats obtenus feront l'objet d'une nouvelle communication que nous publierons d'ici à quelque temps.

M. Middelberg, dans un deuxième article, rend compte de l'adaptation du système anisométrique à quatre nouvelles machines mais avec une disposition spéciale, c'est-à-dire que le cylindre à basse pression avait bien le même diamètre que celui à haute pression, seulement la course du piston de ce cylindre a été portée au double de celle du cylindre à haute pression.

Après un service régulier de plusieurs mois l'économie constatée sur le combustible était de 17 %.

NOTE SUR L'AERO-CONDENSEUR

PAR

M. F. FOUCHÉ

INGÉNIEUR

PRÉLIMINAIRES

On connaît l'importance capitale que présente la marche à condensation pour les moteurs à vapeur.

L'emploi du vide obtenu par la condensation de la vapeur permet en effet de réaliser sur le combustible une économie de 1/3 à 1/4 de la dépense totale, suivant le système de moteur et suivant le degré de vide obtenu, variant le plus ordinairement entre 60 et 70 centimètres de mercure dans les condenseurs à eau.

Jusqu'en ces derniers temps la condensation a été faite exclusivement au moyen de l'eau, soit amenée directement au contact de la vapeur dans le condenseur à mélange, soit séparée par une paroi de la vapeur dans le condenseur à surface.

Dans la plupart des cas, une bien faible partie de la chaleur contenue dans l'eau ayant servi à la condensation, 5 à 10 % au plus, peut être réemployée sous forme d'eau servant à l'alimentation des générateurs, le reste est perdu.

CONDENSATION PAR L'AIR

Il était donc naturel de chercher à obtenir la condensation par une autre matière que l'eau, par l'air par exemple, car l'air chaud ainsi obtenu présente dans un grand nombre d'industries, un emploi précieux en vue de chauffage de bâtiments ou du séchage de produits de toute nature.

DIFFICULTÉ INHÉRENTE A CE SYSTÈME

Mais ici on se heurtait à de grandes difficultés provenant de la faible capacité calorifique des gaz, comparée à celle de l'eau et à la difficulté de faire passer

d'unefaçon économique une quantité importante de chaleur à travers une paroi refroidie par de l'air.

Effectivement une paroi séparant de la vapeur et de l'eau laisse passer par heure et par degré d'écart entre les deux températures environ 1000 calories.

Tandis que si l'eau est remplacée par de l'air dans les conditions ordinaires, la transmission se trouve réduite à 12 calories par degré d'écart des températures.

On eut été ainsi conduit à adopter des appareils à condensation par l'air, d'une surface considérable et par suite d'un prix qui n'aurait pas permis leur admission par l'industrie.

COMMENT ELLE A ÉTÉ RÉSOLUE

Cette difficulté réelle a été tournée de la manière suivante :

On sait que le refroidissement d'une paroi se fait à la fois par rayonnement et par contact dû à la matière refroidissante. Il y a donc grand intérêt pour augmenter la transmission de la chaleur à travers une paroi, à créer la plus grande agitation possible au contact de cette paroi.

C'est sur ce principe qu'il a fallu s'appuyer et c'est en renouvelant constamment l'air autour de l'enceinte remplie de vapeur qu'on a pu en activer dans une large mesure la condensation.

DISPOSITION GÉNÉRALE DE L'AÉRO-CONDENSEUR

L'appareil adopté pour la condensation de la vapeur par l'air se compose donc en principe, d'un faisceau de tubes verticaux renfermant la vapeur d'échappement du moteur sur lesquels un ventilateur à ailes en hélice lance un vif courant d'air ; l'eau produite par la condensation se réunit dans une chambre à la partie inférieure des tubes et en est extraite par une pompe à air.

En somme cet appareil n'est autre chose qu'un condenseur à surface dans lequel on a remplacé l'eau produisant la condensation par de l'air lancé par un ventilateur.

DIFFICULTÉS INHÉRENTES AU GRAND VOLUME D'AIR A METTRE EN MOUVEMENT

Mais ici encore dans la disposition de ces appareils se présentait une grave difficulté.

Quoique ayant augmenté par une grande agitation le pouvoir de refroidissement de l'air, il n'en fallait pas moins débiter une quantité très importante d'air

pour obtenir la condensation de la vapeur, surtout en vue de l'obtention d'un vide convenable.

Cette quantité d'air est en moyenne de 8000 mètres cubes à 10° pour condenser 100 kilogrammes de vapeur.

DISPOSITIONS SPÉCIALES

Il est donc nécessaire de mettre cet air en mouvement en dépensant le moins de travail possible et ce résultat a pu être obtenu en disposant le condenseur de manière à créer le moins de résistances possibles et surtout en établissant un ventilateur disposé de manière à diminuer les pertes de charge de l'air à l'entrée et à la sortie, à empêcher tout mouvement de l'air en sens inverse du mouvement général et possédant des ailes dont le tracé corresponde d'une façon rigoureuse à la vitesse de l'air et à la pression qu'il doit posséder pour vaincre les résistances du condenseur, et les résistances extérieures quand il y a lieu d'en tenir compte.

AVANTAGES DE LA CONDENSATION PAR L'AIR

Dans toutes les usines où il y a de grands séchages à faire, la condensation par l'air est tout naturellement indiquée, car on obtient alors une utilisation complète de la chaleur tout en marchant à condensation, c'est le cas pour les mégisseries, tanneries, fabriques de colle, fabriques de pâtes alimentaires, fabriques de porcelaines, lavage de laines, blanchisseries, fabriques de carton, scieries de bois, fabriques d'engrais, etc.

Dans les usines où il n'y a pas de séchages à faire, mais où il y a des ateliers à chauffer, l'air chaud sera utilisé pendant 6 ou 7 mois, ce qui est encore un résultat intéressant.

D'autre part la condensation par l'eau exige 200 à 300 litres d'eau par cheval et par heure, si l'usine n'est pas sur le bord d'une rivière, cette eau coûte toujours cher, soit qu'on l'achète, soit qu'on fasse forer un puits.

Ces raisons conduisent souvent à renoncer au bénéfice de la condensation pour des machines de moyenne ou de petite force, l'économie qu'elle procure ne compensant plus les dépenses qu'elles nécessite. L'aéro-condenseur permet alors d'atténuer ou de supprimer ces dépenses en appliquant la condensation dans beaucoup de cas où on n'aurait eu aucun avantage à le faire, parce qu'on trouve dans l'utilisation de l'air chaud une compensation aux dépenses qu'entraîne son installation.

Enfin dans la plus grande partie de la France, il est impossible de forer des puits artésiens, on n'a que des puits d'infiltrations qui peuvent donner quelques

mètres cubes d'eau par jour, mais non les quantités considérables qu'exige la condensation; dans certains cas, on n'en peut pas avoir du tout, et l'alimentation du générateur devient difficile ; l'aéro-condenseur est alors le seul moyen d'obtenir le vide.

En résumé, l'aéro-condenseur permet d'utiliser la chaleur perdue des machines à condensation, ce qui n'avait pas été fait jusqu'ici. Il augmente, dans une très forte proportion, le nombre des cas où la condensation peut être appliquée.

UTILISATION DE L'EAU DE CONDENSATION

L'aéro-condenseur, étant un condenseur par surfaces, permet de recueillir entièrement l'eau provenant de la condensation pour la réemployer à l'alimentation du générateur, en séparant les matières grasses.

Cette séparation s'obtient d'une façon presque complète au moyen d'un appareil basé sur l'application de la force centrifuge; l'eau recueillie ne renferme plus que des traces de matières grasses.

Il y a ainsi récupération complète de l'eau d'alimentation, et par suite une machine, munie d'un tel condenseur, peut fonctionner pendant plusieurs mois avec un approvisionnement d'eau de quelques mètres cubes seulement.

Ce cas s'est présenté plusieurs fois pour des phares et des forts isolés.

VIDE OBTENU

Le degré de vide obtenu par l'aéro-condenseur est variable, suivant l'application qu'on en fait, et suivant la température extérieure.

Quand on a en vue, par exemple, l'utilisation de l'air chaud pour un séchage, et qu'on désire que l'air chaud soit lancé sur le produit à une température de 45° par exemple, comme il faut d'autre part qu'il existe entre la température de cet air et celle de l'intérieur du condenseur un écart de 25 à 30 degrés au moins, permettant la transmission de la chaleur d'une façon suffisamment économique, on voit que la température intérieure sera dans le condenseur de 65 à 70°, ce qui correspond à un vide de 50 à 55 centimètres de mercure.

Quand, au contraire, on n'a en vue que la condensation pure et simple, il vaut mieux abaisser la température de l'air chaud en augmentant son volume; la température intérieure peut être alors ramenée à 60°, ce qui correspond à un vide de 60 à 62 centimètres de mercure. En hiver, avec une température de + 8 à + 10° pour l'air froid, le vide peut aller facilement jusqu'à 65 centimètres de mercure.

TRAVAIL EXIGÉ PAR LA CONDENSATION.

Ce travail est presque exclusivement composé par celui nécessité par la mise en mouvement de l'air, et, comme il faudra d'autant plus d'air qu'on voudra avoir un meilleur vide, on comprend donc qu'il y aura un point où l'effet utile sera maximum. et, qu'au delà d'un certain degré de vide, le travail nécessaire en vue de son augmentation serait plus grand que le bénéfice qu'on en pourrait retirer. C'est donc ce point qu'il faut chercher, et, dans la majorité des cas, il correspond à un vide de 55 centimètres de mercure, en été, avec température extérieure moyenne de 20 à 24°; et en hiver à 65 centimètres de mercure avec température extérieure de + 8°.

Il a été fait, au sujet du travail demandé par la condensation par l'air, de nombreuses expériences, dont nous allons citer quelques-unes.

RÉSULTATS D'EXPÉRIENCES.

Dans une première expérience, il a été condensé par heure, dans un aéro-condenseur, 329 kilogrammes de vapeur avec un vide de 46 centimètres de mercure.

Cette expérience a été faite en été avec de l'air pris à + 24°, échauffé par la condensation à 47° 1/2, le ventilateur débitant 25 300 mètres cubes par heure.

Le travail demandé par le ventilateur a été trouvé de 1 cheval 75, ce qui correspond à une condensation de 188 kilogrammes de vapeur condensée par heure pour une force d'un cheval nécessaire à cette condensation.

Dans une deuxième expérience, il a été condensé par heure 365 kilogrammes de vapeur avec un vide de 50 centimètres.

Cette expérience, faite également avec de l'air pris à + 24°, échauffé seulement à 43° 1/2. le ventilateur débitant 34 400 mètres cubes par heure, a demandé 3 chevaux 52, ce qui correspond à une condensation de 103 kilogrammes de vapeur par cheval et par heure.

Enfin, dans une expérience faite sur un aéro-condenseur, fonctionnant pour séchage de carton, expérience faite en présence et par les soins du directeur de l'Association des propriétaires d'appareils à vapeur de la Seine, il a été relevé les résultats suivants :

Poids de vapeur condensée par heure, 388 kilogrammes, avec un vide de 41 centimètres, au moyen d'air à une température de 24°, chauffé à 45° 1/3, le ventilateur débitant 33 400 mètres cubes par heure.

Cette expérience a été faite dans des conditions défavorables, en ce sens que l'air chaud était nécessité par les besoins de l'industrie, en plus grande quantité qu'il n'eût fallu pour avoir l'effet utile maximum fourni par le ventilateur, et en outre le vide pour la même raison n'a pu monter au-dessus de 41 centimètres.

Dans ces conditions, le travail demandé par le ventilateur correspond à 1 cheval pour 125 kilogrammes de vapeur condensée par heure.

Nous voyons donc que, même dans ces conditions désavantageuses, l'emploi de l'aéro-condenseur procure une grande économie par rapport à la marche à échappement libre, en tant que condensation pure et simple, sans même tenir compte de l'emploi ultérieur de l'air chaud.

On voit donc que l'aéro-condenseur peut supporter la comparaison avec les condenseurs ordinaires, tant au point de vue du vide qu'il donne, qu'au point de vue du travail qu'il prend.

Il est inférieur aux condenseurs à eau qui ont de l'eau en abondance et près du sol, mais il est supérieur à ceux qui n'ont que de l'eau peu abondante ou à grande profondeur.

CONDENSATION PAR L'AIR HUMIDE.

Pour le cas où l'on n'aurait pour but que la condensation, sans avoir aucune utilisation de l'air chaud, on augmente à la fois la capacité calorifique de l'air et la facilité de transmission de la chaleur, en arrosant les surfaces de chauffe, de telle sorte que l'air se sature d'humidité en même temps qu'il s'échauffe.

L'aéro-condenseur à air humide, basé sur ce principe, n'exige plus que 6 chevaux pour 2000 kilogrammes de vapeur condensée, soit 330 kilogrammes de vapeur condensée par force de cheval et par heure. Il donne le vide de 60 à 65 centimètres de mercure en toute saison.

PRIX D'ÉTABLISSEMENT.

Quant au prix d'établissement pour 100 kilogrammes de vapeur condensée, il est d'environ 1 500 francs avec l'aéro-condenseur à air sec, et 800 francs pour le condenseur à air humide. Ces prix sont bien souvent inférieurs à ceux que coûterait un condenseur ordinaire à injection avec un puits et les pompes nécessaires.

RÉSUMÉ.

Ainsi, l'aéro-condenseur permet d'utiliser la vapeur perdue des machines à condensation; il permet d'adopter la condensation dans un grand nombre de cas où la condensation par l'eau serait sans intérêt; il permet de la réaliser là où elle serait impossible par tout autre moyen; il permet de récupérer entièrement l'eau distillée, et, aidé du séparateur centrifuge, il rend à la chaudière de l'eau parfaitement pure.

Enfin, il n'exige ni beaucoup plus de travail, ni beaucoup plus de dépenses qu'un condenseur à eau ordinaire, et il demande, par contre, beaucoup moins d'entretien.

C'est donc à tous les points de vue un appareil d'un très grand intérêt, soit au point de vue des machines, si on le considère comme condenseur, soit au point de vue du séchage et du chauffage.

L'Arbre, la Manivelle, la Bielle et le Volant

Régularisation du mouvement dans les appareils à simple effet

Communication faite par M. N.-J. Raffard

Messieurs, l'arbre, la manivelle, la bielle et le volant, organes que l'on rencontre dans toutes les machines, en sont à la fois, les plus simples et les plus importants. Tout ce qui se rapporte à leur construction doit donc intéresser les ingénieurs et principalement ceux qui s'occupent de machines à grande vitesse. Ces grandes vitesses même préoccupent tout le monde, vous me pardonnerez, j'espère, Messieurs, d'exposer ici devant vous des considérations aussi élémentaires que celles qui vont suivre, car elles ont pour objet le fonctionnement économique, la sécurité et la sûreté de marche des machines à mouvements alternatifs rapides.

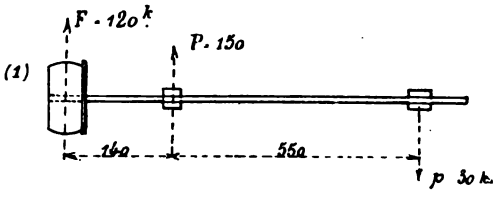
L'ARBRE

L'arbre est un corps rigide supporté par deux appuis ou paliers dans lesquels il tourne : le mouvement lui étant ordinairement imprimé au moyen d'une poulie, d'une roue d'engrenages, ou d'une manivelle placée entre les appuis, ou bien encore en dehors, c'est-à-dire en *porte-à-faux*.

Le mouvement reçu par l'arbre est généralement transmis à l'outil au moyen de manivelles, excentriques, roues d'engrenages ou poulies ; mais dans ce qui suit, nous supposerons toujours que la résistance à vaincre est produite par une dynamo, une hélice entièrement plongée dans l'eau ou tout autre objet produisant un couple résistant.

Notre but étant de montrer les inconvénients qui résultent de l'emploi d'organes placés en porte-à-faux [1] sur les arbres, nous allons comparer ce mode de

1. Je définis le porte à faux p, comme étant le rapport $\frac{a}{b}$ de deux longueurs a étant la distance de deux plans perpendiculaires à l'arbre : celui décrit par



le milieu du bouton de la manivelle et celui passant par le milieu de la portée du coussinet; b étant la distance des milieux des deux paliers. Si b est variable et le porte-à-faux p, une fonction de b, ce rapport varie comme une hyperbole équilatère. Il est donc infini pour $b = o$ et nul pour $b = \infty$.

construction à celui plus rationnel du montage de ces mêmes organes entre les paliers.

Pour matérialiser notre pensée, nous prendrons le cas offert par la dynamo rustique représenté figure 1, dans laquelle l'arbre est commandé par une poulie en porte-à-faux. La distance du milieu de la poulie au milieu de la portée sur le coussinet le plus proche est de 140 millimètres tandis que la distance des

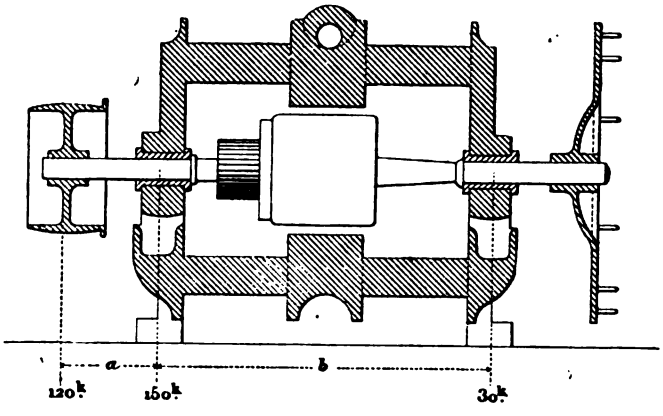


FIG. 1

milieux des deux paliers de la machines n'est que de 550 millimètres, c'est-à-dire une longueur seulement quatre fois plus grande. Ceci posé, il est facile de voir que par le fait même de cette disposition, les pressions sur les paliers sont augmentées et que le frottement de l'arbre de la machine sera rendu moitié plus grand que si la courroie agissait au milieu de l'arbre entre les deux appuis. En effet, si nous faisons la tension des deux brins de la courroie égale à 120 kilogrammes, il est facile d'établir que la pression sur le palier voisin de la poulie s'élève à 150 kilogrammes, alors qu'elle atteint 30 kilogrammes sur l'autre palier. La somme des pressions sur les deux paliers due à l'action de la courroie sera donc de 150 + 30 ou 180 kilogrammes. On voit ainsi que, dans ce cas, la disposition en porte-à-faux rend le frottement moitié plus grand que celui que produirait la même courroie également tendue agissant sur une poulie placée entre les deux paliers de l'arbre.

$$P = 120\left(\frac{140 + 550}{550}\right) = 120 \times 1{,}25 = 150 \text{ k.}$$

$$p = 120\,\frac{140}{550} = \frac{120}{4} = 30 \text{ k.}$$

De plus, il est à remarquer que les pressions sur les coussinets s'exerçant toujours en sens contraire, l'usure n'a pas lieu parallèlement à l'arbre.

Avant de continuer, nous croyons utile de signaler une disposition appelée à rendre de grands services pour la commande des dynamos, et qui consiste en un bâti semblable à la poupée d'un tour (voir la fig. 2). Ce bâti, fondu d'une seule

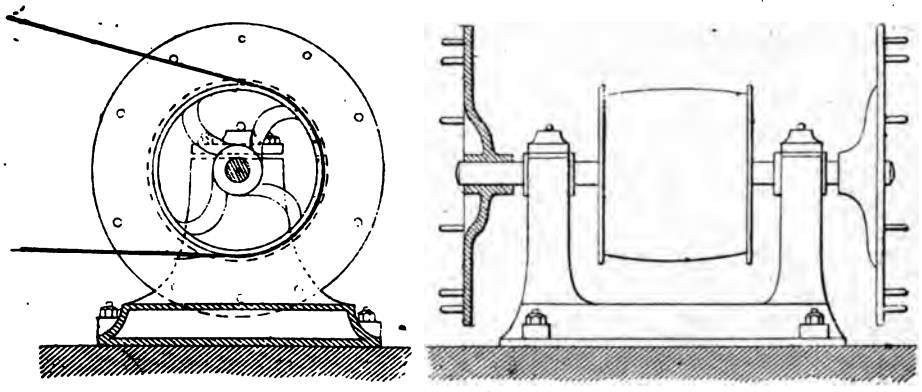


FIG. 2

pièce avec les paliers porte un arbre sur le milieu duquel est calé la poulie de commande, et dont les deux extrémités en dehors des paliers sont munies chacune d'un plateau d'accouplement à bagues de caoutchouc, transmettant le mouvement à l'une des dynamos. Cette dernière disposition fatigant moins l'arbre que dans le cas du porte-à-faux, on pourra en réduire le diamètre d'un sixième environ sans nuire à la solidité, et alors les frottements ne seront plus guère que la moitié de ce qu'ils sont dans le dispositif en porte-à-faux. Cette construction excessivement solide présente en outre l'avantage de réduire au minimum les frottements de l'arbre, celui de soustraire les dynamos aux vibrations et secousses produites par les inégalités d'épaisseur de la courroie, vibrations qui faisant sautiller les balais produisent des étincelles qui nuisent au bon fonctionnement et à la durée des appareils.

Ceci posé, remarquons que les mêmes efforts se retrouvent identiquement dans les machines à vapeur lorsque l'arbre est commandé par une manivelle en porte-à-faux, disposition représentée figure 3. Dans ce cas en effet, on est obligé, afin d'éviter l'échauffement du palier de la manivelle, de répartir la pression sur une plus grande surface en allongeant la portée de l'arbre, ce qui malheureusement ne peut se faire sans exagérer encore le porte-à-faux ; d'où il résulte un nouveau surcroît de pression et surtout de fatigue pour l'arbre qui nécessite d'en augmenter le diamètre. On ne sort donc de cette difficulté que par une construction

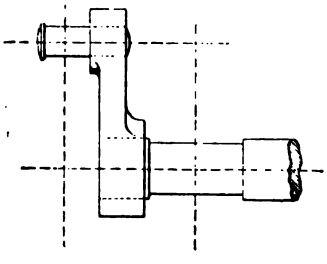


FIG. 3

très substantielle, très coûteuse et des frottements toujours considérables. Dans une machine, l'effort maximum de torsion entre la manivelle et le volant n'est jamais dépassé, mais celui de flexion n'est jamais limité ; ce sont toujours des coups d'eau ou des compressions exagérées qui produisent les ruptures, le coefficient de sécurité doit donc être d'autant plus élevé que le porte-à-faux est plus grand.

Je passerai maintenant à la manivelle.

LA MANIVELLE

Ce porte-à-faux de la manivelle si nuisible au bon fonctionnement de la machine sera réduit au minimum possible par la disposition à *manivelle retournée*, dans laquelle le bout de l'arbre et le moyeu de la manivelle approchent à 3 millimètres environ du passage de la bielle, comme cela est indiqué sur la figure 4.

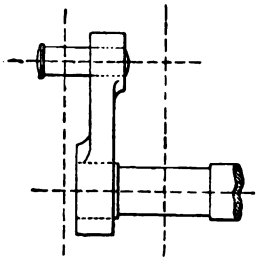


FIG. 4

Ce moyen qui utilise complètement l'espace dont on dispose ayant de plus l'avantage d'augmenter la solidité de la manivelle sur l'arbre, on pourra diminuer un peu la longueur de l'emmanchement, et on profitera ainsi d'un espace relativement considérable pour rapprocher le palier du plan d'oscillation de la bielle. Comme d'autre part ce dispositif augmente l'éloignement des deux paliers ce qui réduit encore dans une certaine mesure les pressions sur les tourillons, cette construction sera donc plus légère, plus solide et plus économique que l'ancienne, car elle diminue les frottements et augmente la résistance de l'arbre.

Il résulte des considérations précédentes, que lorsque le local dont on dispose, ne permet pas d'avoir une distance des deux paliers égale au moins à cinq fois la longueur du porte-à-faux de la manivelle, il faut renoncer à ce genre de construction et employer le dispositif de l'arbre à vilebrequin (fig. 5) autrefois considéré comme dangereux, à cause des difficultés de forge, mais que les progrès de la fabrication permettent d'employer maintenant en toute sécurité.

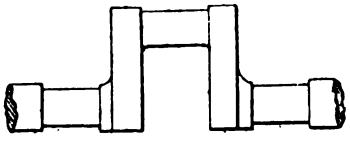


FIG. 5

Dans ce dispositif qui correspond au cas de la poulie (fig. 2), l'action de la bielle, s'exerçant entre les deux paliers, on n'a jamais de pressions plus considé-

rables que celles résultant de cette action [1] : les frottements sont donc moindres que dans le cas précédent et l'usure des paliers se fera toujours parallèlement à l'axe, ce qui est un grand avantage pour le fonctionnement des divers organes de la machine.

Il est vrai que le diamètre du bouton de la manivelle en porte-à-faux est moins grand que celui de l'articulation de la bielle sur le vilebrequin, mais la légère augmentation de frottement qui peut en résulter est grandement compensée par le moindre diamètre des tourillons de l'arbre à vilebrequin.

Ceci posé, je passerai à

LA BIELLE

Il ne faudrait pas croire que l'on puisse arriver à réduire le porte-à-faux par cet autre moyen qui consiste à rendre la tête de bielle dissymétrique pour en rapprocher le fût du bras de la manivelle comme l'indique la figure 6 : ce qui ne diminuerait en rien le porte-à-faux. En effet, la résultante des pressions sur le bouton de la manivelle passant toujours nécessairement par le *milieu* de ce bouton, j'insiste sur le mot milieu, la bielle ne sera plus également chargée de part et d'autre de son axe : ce qui la fera fouetter. De plus, la direction des forces qui agissent sur la bielle n'étant plus située dans le plan décrit par le milieu du bouton de la manivelle, il en résulte des efforts perpendiculaires au plan d'oscillation de la bielle, et qui changeant de direction à chaque demi-révolution donnent lieu à des mouvements louvoyants [2], des usures latérales et des chocs qui se réper-

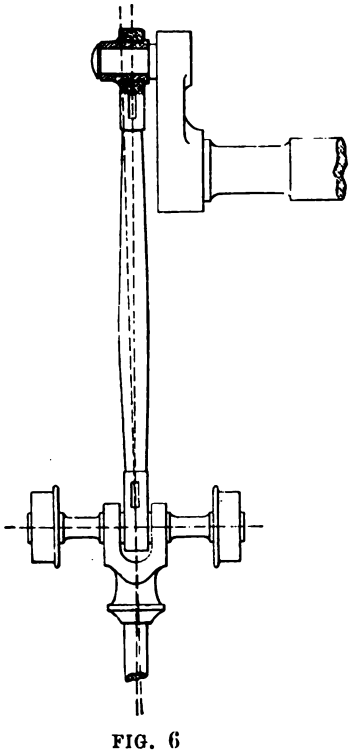


FIG. 6

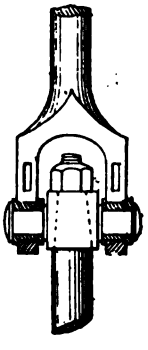


FIG. 7

1. On démontre facilement que quelle que soit la position du vilebrequin entre les deux paliers, la somme des pressions sur chacun d'eux et par conséquent la puissance dissipée en frottement est toujours la même.

2. Nom donné par notre président M. HATON DE LA GOUPILLIÈRE, à ces mouvements hélicoïdaux dans lesquels l'une des forces n'entre en jeu, que par suite du mouvement produit par d'autres forces.

cutent sur tous les organes de la machine, et en provoquent la dislocation. La bielle non symétrique doit donc être exclue de toute construction sérieuse, et, à plus forte raison, il en sera de même de la bielle fourchue représentée (fig. 7) car par suite du desserrage accidentel d'une des clavettes ou de l'usure inégale des coussinets des deux branches de la fourche, un seul côté de la bielle supporte alors tous les efforts du piston ; il en résulte une fatigue excessive de la tige du piston qui se fausse et ne tarde pas à se rompre.

J'aborderai pour terminer la question

LE VOLANT

Le volant, organe indispensable à la régularité du mouvement et au fonctionnement économique des machines, est souvent une cause de frottements tels qu'une grande partie du travail moteur se trouve absorbée et que le constructeur, dans la crainte de cet inconvénient, se dispense de donner à cet organe une puissance suffisante, au grand détriment de la marche du moteur et de la qualité des produits fabriqués. Cependant comme nous allons le voir, le poids du volant peut parfaitement être équilibré par les forces développées dans la machine et, dans ce cas, ne causer presqu'aucun frottement supplémentaire, ce qui fait qu'alors la régularisation du mouvement ne coûte presque rien.

Pour cela il suffit de disposer *verticalement* (j'insiste sur le mot verticalement) l'axe du cylindre et de rechercher les meilleures proportions à établir entre le *poids* du volant et *l'effort* sur le piston, ainsi que le meilleur emplacement de ce volant sur l'arbre au point de vue du frottement qu'il cause.

Pour mieux fixer les idées, considérons d'abord le cas théorique d'une machine à vapeur *verticale* à pleine pression et à bielle infinie dont on aurait enlevé le volant, et sur l'arbre de laquelle serait appliqué un couple résistant.

Dans chaque position de la manivelle l'effort transmis par la bielle étant constant en grandeur et en direction, la pression de l'arbre sur ses coussinets sera elle même constante, et le frottement qui en résultera demeurera le même pendant une révolution entière de la manivelle. Si donc F est cet effort constant, le frottement pendant une demi-révolution sera une fraction $\frac{F}{m}$ de cet effort et pendant une révolution entière $\frac{2F}{m}$. Ajoutons maintenant un volant sur l'arbre de la machine *très près de la manivelle*, comme l'indique la figure 8 : son poids va entrer en jeu et se composera avec les efforts verticaux transmis par la bielle ; dans ce cas le poids du volant s'ajoute à l'effort ou s'en retranche suivant le sens du mouvement du piston. Si donc F représente encore l'effort et P le poids du volant, le frottement sera dans

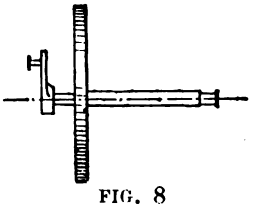


FIG. 8

le premier demi-tour $\frac{F+P}{m}$ et dans le second demi-tour $\frac{F-P}{m}$. Si maintenant nous faisons en particulier $F = P$, nous aurons pour le premier demi tour $\frac{2F}{m}$ et pour le second demi tour, O, total $\frac{2F}{m}$ comme dans le cas de la machine sans volant.

Ainsi l'introduction d'un volant de poids P, égal à l'effort F exercé par le piston ne cause pas de frottement supplémentaire relativement à la machine sans volant.

A ce point de vue, la même machine horizontale est inférieure à la machine verticale. En effet : donnons lui un volant d'un poids P égal à l'effort F, et plaçons comme précédemment ce volant très près de la manivelle. La résultante pour chaque demi-tour sera $F\sqrt{2}$ (fig.9) et le frottement correspondant $\frac{F\sqrt{2}}{m}$. Pour un tour complet le frottement sera $\frac{2F\sqrt{2}}{m} = \frac{2P}{m} \times 1{,}41$.

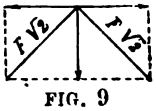


FIG. 9

Le frottement dû au poids du volant est donc plus élevé de 40 % dans la machine horizontale que dans la machine verticale à volant équilibré.

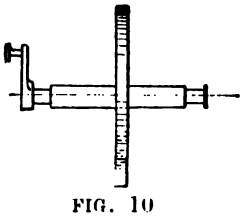


FIG. 10

Nous avons dit tout à l'heure qu'il était nécessaire de mettre le volant le plus près possible de la manivelle. En effet si nous avions placé ce volant au milieu de l'arbre (fig. 10), il est facile de voir que 50 % seulement du frottement dû au poids du volant, auraient été équilibrés dans la machine verticale, et environ 30 % dans la machine horizontale.

Mais si, comme on le fait souvent, nous avions placé le volant à l'autre bout de l'arbre, près de ce qu'on a l'habitude de nommer le palier du volant (fig. 11) le frottement de l'arbre dû au poids du volant et à l'action de la bielle aurait été pour la machine verticale deux fois plus grand que dans la première disposition.

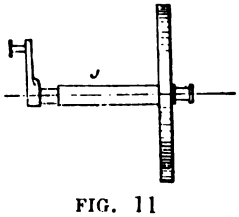


FIG. 11

Les cas que nous venons d'examiner ne rentrent évidemment pas dans les conditions de la pratique, ils nous ont servi simplement à établir les faits dans leur généralité.

La machine de Woolf à balancier et à volant placé très près de la manivelle, de même que les dispositifs à cylindres verticaux qui rappellent les anciennes

machines verticales à directrices et bielles pendantes de Maudslay (fig. 12) et aussi ceux à pilon (fig. 13 et 14) ayant des volants *identiques* à chaque bout de l'arbre à vilebrequin permettent d'annuler presque complètement le frottement dû au poids du volant.

En résumé, ces considérations montrent que dans la machine à vapeur, on peut non seulement obtenir toute la régularité de mouvement désirable au moyen de volants puissants, sans augmenter pour cela les résistances passives, mais aussi assurer cette uniformité dans les admissions si indispensables au fonctionnement le plus économique des machines à détente variable par le régulateur [1].

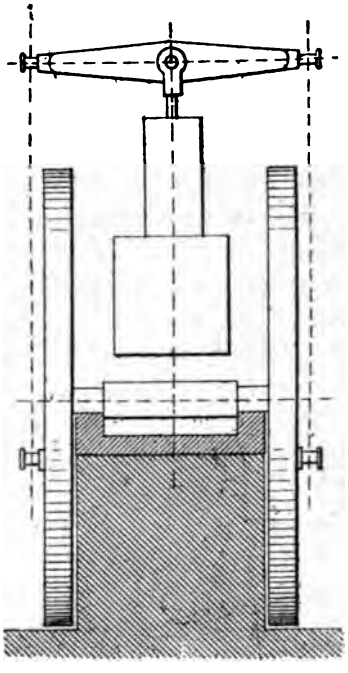


FIG. 12

Par ce qui précède, on voit qn'au début d'une installation d'usine, il faut bien se garder de commencer par l'achat de la machine à vapeur sans tenir compte des outils qu'elle aura à faire mouvoir, car on serait bientôt obligé d'employer

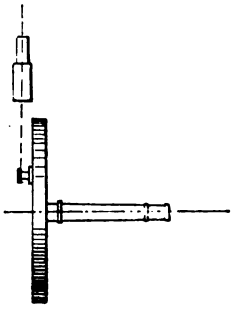


FIG. 13

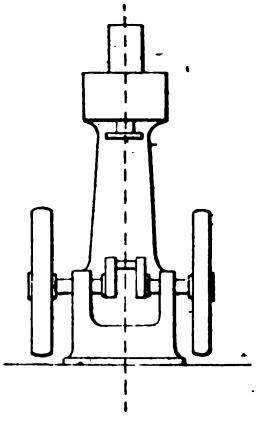


FIG. 14

1. En effet lorsque le régulateur est isochrone et le volant peu puissant il arrive parfois qu'à une admission totale succède une admission nulle, alors non seulement la détente de la vapeur n'est pas utilisée mais les résistances passives sont considérablement augmentées. La constance du degré de la détente est une des principales conditions d'économie et elle ne peut être réalisée que par l'emploi d'un volant très puissant joint à un régulateur suffisamment stable.

des transmissions compliquées et très coûteuses, pour l'atteler à ces outils et en outre la régularité du mouvement ne serait probablement pas suffisanteui. Psque l'outil à faire mouvoir est l'objet principal, on étudiera d'abord quelle est la vitesse et le degré de régularité qu'il exige, et sur ces données on établira le volant en donnant à cet organe une vitesse se rapprochant de celle de l'outil, un diamètre aussi grand qu'il est raisonnable de le faire, et enfin un poids suffisant pour assurer toute la régularité dont on a besoin. Ensuite on déterminera les pressions sur les pistons du grand et du petit cylindre d'une machine de Woolf qui, dans un dispositif vertical, produiront l'équilibre du volant, et enfin on déterminera la course des pistons selon la puissance à donner à la machine.

En résumé dans la construction des machines à vapeur on devra toujours prendre en considération :

1° L'outil à faire mouvoir, la vitesse et le degré de régularité de mouvement qui lui conviennent ;

2° L'équilibre du poids du volant qu'il importe de réaliser par les dispositifs verticaux à balancier, à bielles pendantes et à pilon.

3° L'exclusion absolue des bielles fourchues et de celles dont les différentes parties ne sont pas symétriques par rapport à l'axe.

4° L'emploi de la manivelle retournée qui permet de réduire au minimum le porte-à-faux des manivelles.

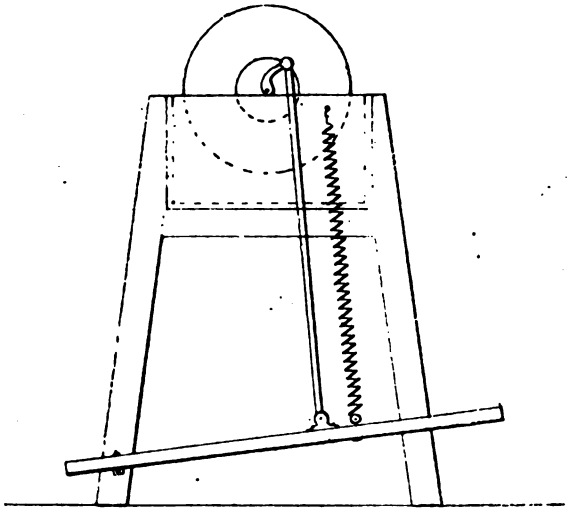
5° Enfin le dispositif à vilebrequin doit toujours être préféré à celui de l'arbre à manivelle, toutes les fois que la distance des deux paliers de ce dernier n'est pas très grande par rapport au porte-à-faux.

Régularisation du mouvement et diminution du frottement dans les appareils à simple effet

Les principes que nous avons développés au sujet de l'équilibre du poids du volant dans les machines à vapeur, s'appliquent aussi à toutes les autres machines, et par conséquent aux appareils mus par une pédale et une manivelle, tels que tours au pied, meules, machines magnéto-électriques de laboratoire, etc.

On peut annuler en partie le frottement dû au poids du volant ou de la meule, par l'emploi d'un ressort convenablement tendu agissant sur la pédale en sens contraire de la pesanteur, comme cela est indiqué dans la figure ci-après. Pendant la descente de la pédale, c'est-à-dire pendant une demi-révolution, ce ressort diminue de moitié l'effort produit par le pied, puis, continuant son action, pendant l'autre demi-révolution, il diminue encore d'autant le poids du volant. Il en résulte évidemment que la mise en jeu de ce ressort réduit les frottements

de l'arbre dus au poids du volant et à l'effort exercé par le pied. En outre, la bielle agissant avec une égale énergie pendant les deux demi-révolutions, l'emploi du ressort transforme la manivelle à simple effet en manivelle à double effet, ce qui augmente la régularité dans le rapport de 1 à 5 (1).



On sait en effet que pour une même vitesse et un même travail, le poids du volant d'une machine à manivelle, à double effet, n'est que le 1/5 de celui d'une machine à simple effet, pour une même variation relative de la vitesse.

De plus l'irrégularité de mouvement qui tend à produire le poids de la pédale, sera facilement évitée par un réglage de la tension du ressort.

Ainsi l'emploi de ce simple ressort, dans ce genre de machines, en rend la régularité beaucoup plus grande, tout en diminuant les frottements d'une manière considérable.

(1) Cela résulte de la comparaison des formules de Poncelet relatives au calcul du poids du volant dans les machines à simple et à double effet.

Dans la machine à simple effet, on a : $PV^2 = 24324 \frac{n}{m} N$.

— double — $PV^2 = 4645 \frac{n}{m} N$.

C'est-à-dire que dans ces deux expressions, tout s'y trouve semblable à l'exception du facteur numérique qui est environ 5 fois (5,24) plus considérable pour la manivelle à simple effet, que pour celle à double effet. Donc pour une vitesse égale, la première exige n volant cinq fois plus grand.

LE FREIN DYNAMOMETRIQUE

de M. N.-J. Raffard

COMMUNICATION DE R. ARNOUX

La mesure exacte du travail et surtout de la puissance mécanique des moteurs joue aujourd'hui un très grand rôle dans l'industrie. Cette mesure, bien qu'elle paraisse simple et facile au premier abord, surtout depuis l'invention du frein de Prony, n'est pas sans présenter de grandes difficultés dans la pratique, pour peu qu'on veuille atteindre une certaine précision.

Si l'indicateur de Watt, dans le cas des moteurs thermiques, est, de tous les appareils destinés aux mesures de ce genre, le plus commode et le moins dispendieux à installer, surtout lorsqu'il s'agit de moteurs de grande puissance comme les machines marines, le frein dynamométrique aura toujours l'avantage de s'appliquer à tous les moteurs connus et de donner des bases loyales, exemptes de toute controverse raisonnable, aux transactions des constructeurs et des acheteurs, car il fait connaître d'une façon palpable, en quelque sorte, la puissance mécanique *directement utilisable*.

Aujourd'hui que les immenses progrès réalisés par l'industrie sidérurgique ont permis aux constructeurs d'aborder avec sécurité les grandes vitesses angulaires que la concurrence de plus en plus grande oblige à employer si on veut lutter à armes égales, on peut dire que l'indicateur de Watt a fait son temps, du moins comme appareil de mesure, lorsqu'il s'agit de vitesses angulaires dépassant 2 à 300 tours par minute. Il suffit, en effet, d'avoir fait quelques essais comparatifs avec des indicateurs de construction ou de provenances différentes pour s'en convaincre immédiatement. Avec de pareilles vitesses, l'inertie des pièces mobiles de l'indicateur et en particulier celle des leviers amplificateurs, intervient pour fausser complètement les résultats, et on peut dire que dans ces conditions le frein de Prony où l'une de ses variantes est le seul appareil auquel on puisse réellement se confier pour la mesure de la puissance mécanique.

De tous les freins dynamométriques, le plus simple et le plus facile à établir est sans contredit le vieux frein de Prony. Il peut être installé partout et à peu

de frais, et, lorsqu'il est convenablement établi, on peut effectuer avec lui des mesures assez précises. Mais l'emploi de ce rustique appareil donne lieu à certaines erreurs et présente certains inconvénients qu'il importe de signaler.

La plus grave cause d'erreur est due à la pratique à peu près constante et générale d'atteler les poids *directement* à l'extrémité du levier. Il est facile de voir que dans ces conditions le poids entier du frein et de sa poulie agit pour développer sur les coussinets des pressions, et par conséquent des frottements dont le moment correspondant échappe *complètement* à la mesure et dont il est impossible de tenir compte même d'une façon approximative.

On peut éliminer toutefois cette cause d'erreur en retournant le frein bout pour bout et en attelant la charge, non plus directement sur l'extrémité du levier, mais par l'intermédiaire d'une chaîne (1) qui vient s'enrouler sur une poulie de renvoi. Si, dans ces conditions, on donne au poids de charge P une valeur constante et *égale au poids du frein et de sa poulie*, il est facile de voir que le centre instantané de rotation autour duquel tend à tourner à chaque instant le système constitué par le frein et sa poulie se trouve constamment à l'extrémité du levier, ce qui donne lieu sur ce système à une réaction verticale dirigée de *bas en haut* et précisément égale à P, c'est-à-dire au poids même du frein, de sorte que l'arbre tourne sans frottement appréciable dans ses coussinets.

Il est bien évident que la pression exercée sur l'axe de la poulie de renvoi est égale à la charge P augmentée du poids du frein et de tous ses accessoires; mais il importe de remarquer que cela ne peut fausser d'une façon appréciable l'exactitude de la mesure, puisque cette poulie ne tourne pas ou du moins n'est animée que de mouvements angulaires extrêmement faibles.

Pour faire varier la charge du frein, sans modifier ces précieuses conditions d'équilibre, il suffit de faire varier seulement le bras de levier du poids P. Ainsi agencé, le frein de Prony est un peu plus compliqué il est vrai, mais l'exactitude réalisée dans les mesures compense et au-delà cette complication.

Une autre cause d'erreur est due aux oscillations continuelles et presque inévitables du levier. Dans l'appareil primitif de Prony ce levier était toujours placé *au-dessus* de l'axe de la poulie, ce qui avait pour inconvénient de rendre l'équilibre du frein tout à fait instable, et son règlage sinon impossible, du moins extrêmement fugitif. Poncelet a montré depuis longtemps que le frein peut être rendu stable en plaçant le levier *au-dessous* de l'axe. Dans ces conditions et si l'opérateur chargé de la surveillance du frein est assez habile pour éviter les oscillations du levier par un serrage convenable et attentif des mâchoires, on peut compter sur des mesures suffisamment concordantes.

Lorsque le centre de gravité du frein est placé trop au-dessous de l'axe de la poulie, il est extrêmement important de réduire autant qu'il est possible les

1. Il est préférable d'employer une chaîne formant circuit fermé, parce que son poids n'intervient plus pour fausser les mesures.

oscillations du frein, car ces oscillations faisant nécessairement varier suivant une loi complètement inconnue le moment résistant, il est impossible d'en connaître exactement la valeur moyenne, sans l'emploi d'un cylindre enregistreur.

Le frein de Prony présente en outre un grave inconvénient, son règlage n'est pas automatique, et cette circonstance impose une surveillance de tous les instants.

On a cherché et proposé bien des moyens pour rendre ce règlage automatique, mais aucun n'a fourni jusqu'ici une solution aussi parfaite que celui basé sur la loi connue du frottement d'une corde sur un cylindre et d'après laquelle ce frottement varie comme l'exponantielle de l'arc d'embrassement.

On sait en effet que si on désigne par T_o la tension exercée sur l'extrémité d'une corde ou d'une sangle enroulée sur un cylindre de rayon r, par s la longueur de l'arc d'enroulement et par f le coefficient de frottement des deux corps en contact, la tension T qu'il est nécessaire de développer sur l'autre extrémité de la corde pour la faire glisser est donnée par la relation.

$$T = T_o\, e^{\frac{fs}{r}}$$

Qui montre que si, par un dispositif mécanique quelconque, on peut assurer la constance des tensions T et T_o, quel que soit l'arc d'embrassement s, celui-ci variera exactement en raison inverse du coefficient de frottement et pourra compenser ainsi les variations inévitables de ce coefficient.

L'idée d'appliquer cette propriété du frottement d'une corde sur un cylindre à la construction d'un frein à règlage automatique paraît appartenir à l'ingénieur anglais S. Imray, qui l'a fait connaître en 1852. On trouvera la description du frein d'Imray dans le supplément du *Spon Dictionary*, page 524.

En 1879, M. Jules Carpentier, ingénieur constructeur, retrouva cette idée d'une façon indépendante et l'appliqua à la construction de freins destinés à la mesure du travail produit par les premiers petits moteurs électriques à navette Siemens, de M. Marcel Deprez.

Le frein de M. Carpentier se compose (fig. 1) de deux poulies montées sur l'arbre même du moteur à essayer. La première A étant clavetée sur cet arbre, participe à son mouvement de rotation, la seconde B est folle. Sur cette dernière poulie viennent se fixer des cordes destinées à supporter chacune un poids connu. La corde à laquelle est attelé le plus lourd des deux poids s'enroule sur la poulie folle et vient se fixer au point D. La corde supportant le poids p est également fixée sur cette dernière poulie par l'intermédiaire d'une potence C, et repose sur la poulie entrainée. En faisant tourner l'arbre dans le sens suivant lequel agit le poids p, la corde Gp subit le frottement de la poulie clavetée et l'effort développé entraîne d'abord la potence et la poulie folle dans le sens de la rotation. Mais à

mesure que cette potence se déplace, l'arc d'enroulement de la corde C*p* diminue, et l'effort développé par cette corde devient rapidement égal à l'effort P qu'exerce en sens contraire la corde DP. Dans ces conditions, l'équilibre est toujours stable et *l'effort moteur* développé par le frottement de la poulie entraînée est égal,

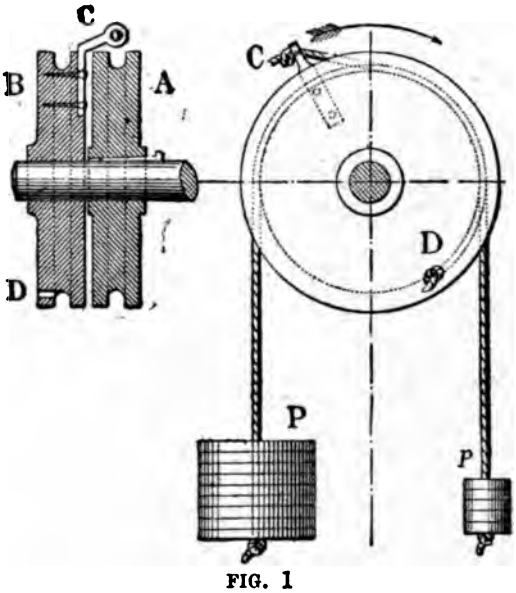


FIG. 1

à P — *p*. Si donc on désigne par D le diamètre de la poulie mobile, et par N sa vitesse angulaire en tours par minute, la puissance développée qui est égale comme on sait, au produit de l'effort moteur par la vitesse de déplacement de son point d'application sera donnée par l'une ou l'autre des deux formules.

$$(P - p)\,\frac{\pi D N}{60} \text{ kilogrammètres par seconde}$$

$$(P - p)\,\frac{\pi D N}{60 \times 75} \text{ chevaux-vapeur}$$

Ce qui rend cette solution à la fois si pratique et si élégante, c'est la rapidité, et l'efficacité avec lesquelles s'effectue automatiquement le règlage. Si le coefficient de frottement *f* vient à varier, l'arc d'enroulement *s* varie en conséquence, de manière à maintenir constant le produit *f s*. On n'observe ici rien d'analogue aux déplacements angulaires communiqués au levier du frein de Prony, lesquels ne portent pas avec eux leur correctif et exigent un règlage assidu des mâchoires.

Ainsi établi, le frein à règlage automatique de M. J. Carpentier est sujet à de graves objections lorsqu'on veut l'appliquer à des mesures précises.

En effet, le poids relativement considérable du frein et surtout de ses deux poids de charge, fixés en porte-à-faux à l'extrémité de l'arbre moteur, donne lieu sur les coussinets à des pressions, et par conséquent à des frottements qui, ainsi que dans la disposition ordinaire du frein de Prony, échappent complètement à la mesure.

D'autre part, les poids P et p ne sont pas constants, à cause de l'enroulement inverse des cordes, mais c'est là une cause d'erreur sans grande importance.

Enfin, le point d'attache de la corde qui glisse sur la poulie entraînée n'étant pas dans le même plan que celui de la poulie folle, il en résulte un effort de gauchissement qui produit une usure inégale et rapide de l'arbre et du moyeu de cette poulie, de sorte qu'on ne peut employer que des sangles et des poulies de peu de largeur.

C'est en étudiant les moyens d'éliminer ces causes d'erreur et ces inconvénients que M. N.-J. Raffard est arrivé à réaliser, d'abord sous forme de balance, en 1880, le frein dynamométrique que nous allons décrire et qui permet d'effectuer des mesures avec une facilité et une précision extrêmement remarquables.

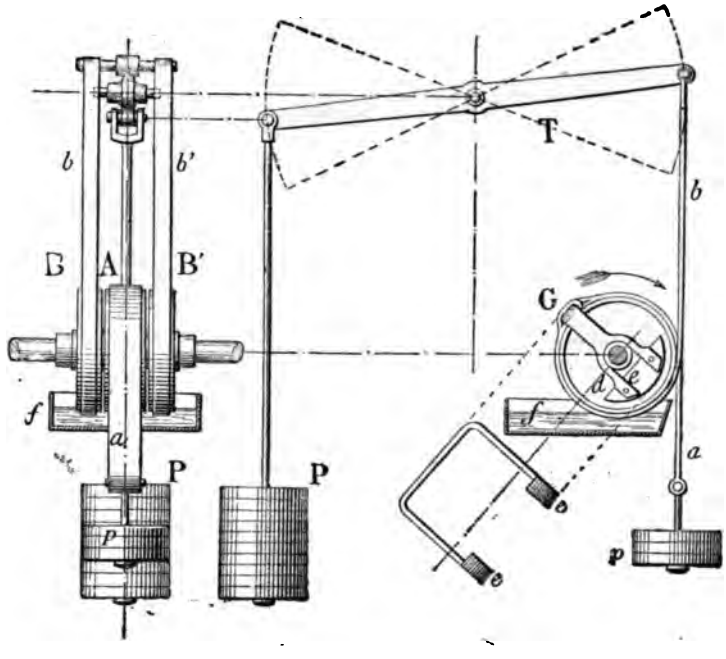


FIG. 2

Le premier appareil imaginé par M. Raffard est représenté schématiquement par la figure 2 et en perspective par la figure 3. L'organe principal du nouveau frein, et qui se retrouve d'ailleurs dans toutes les variantes que l'inventeur a

imaginées, est constitué par trois poulies de même diamètre disposées sur un arbre commun : l'une A, clavetée sur l'arbre participe à son mouvement de rotation, les deux autres B et B' placées à droite et à gauche sont folles. L'ensemble formé par les trois poulies est embrassé par un étrier G*d* équilibré par rapport à l'axe de rotation au moyen de deux contrepoids *e* et *é* fixés aux branches *d* par des vis de règlage. Sur la poulie A repose une sangle en chanvre ou en lin. L'une de ses extrémités supporte le poids *p* l'autre vient se fixer sur le mi-

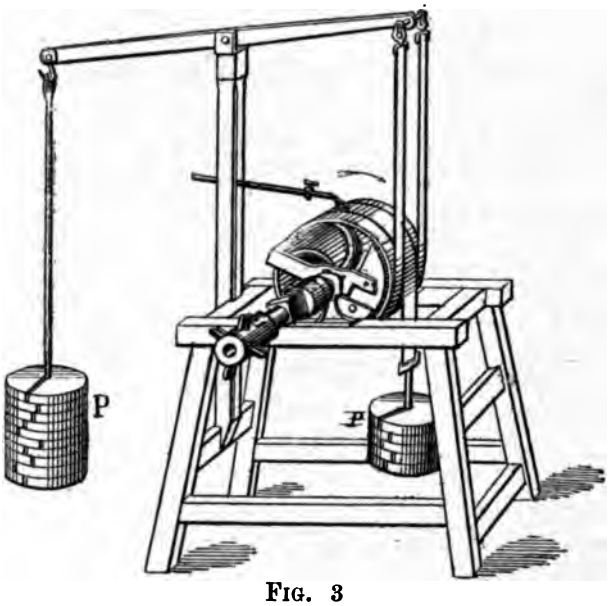


FIG. 3

lieu de l'étrier auquel elle transmet l'effort du poids *p* augmenté de celui qui est développé par le frottement de la poulie entraînée. Sur les poulies folles B et B' s'enroulent en sens inverse deux sangles de *même épaisseur* que la première, mais de largeur *moitié moindre*. Les extrémités inférieures de ces deux sangles sont fixées sur l'étrier G et les extrémités supérieures sur un palonnier articulé qui égalise les tensions développées et les transmet à une des extrémités d'un fléau de balance T qui supporte un poids P fixé à son autre extrémité.

L'arbre du frein est muni d'un manchon d'accouplement constitué par un double joint de cardan. Enfin un tube de laiton muni d'un ajutage à robinet qui permet de régler l'écoulement sur la sangle de frottement d'un filet d'eau savonneuse, et un réservoir *f* destiné à recueillir l'eau échauffée complètent l'appareil.

Ainsi établi le frein est absolument automatique, car si par suite d'un changement survenu dans l'état des surfaces glissantes, le frottement vient à varier ;

l'arc d'enroulement varie immédiatement en sens inverse et rétablit ainsi l'équilibre. Lorsque l'écoulement de l'eau savonneuse est bien réglé, le frein peut fonctionner plusieurs heures sans qu'on ait à y toucher. Le frottement ayant une valeur constante et égale à $(P - p)$ la puissance développée est donnée par l'une ou l'autre des deux formules.

$$(P - p)\frac{\pi D N}{60} \qquad (P - p)\frac{\pi D N}{60 \times 75}$$

Dans ces formules l'effort $(P - p)$ est appliqué non pas sur le bras de levier $\frac{D}{2}$ mais sur ce bras de levier augmenté de la demi-épaisseur de la sangle. Pour déterminer la valeur exacte de la circonférence πD, les poids P et p étant en place, on applique sur une plate-bande ménagée sur le moyen du manchon d'accouplement une équerre à niveau et on trace une ligne de repère sur les sangles à la hauteur de leur contact avec les poulies, puis on fait tourner celles-ci d'un angle exactement égal à 180°, ce qui est facile avec l'équerre à niveau, et on trace une nouvelle ligne de repère, la distance qui sépare les repères donne exactement la longueur de la demi-circonférence d'enroulement. En répétant la même mesure au commencement et à la fin de chaque expérience, on a ainsi un moyen de contrôle qui permet d'apporter dans les calculs les petites corrections jugées nécessaires.

Il est important d'examiner un instant les causes d'erreurs que les dispositions judicieuses de M. Raffard permettent d'éliminer.

Nous avons fait observer que dans la disposition ordinaire du frein de Prony avec la charge attelée *directement* à l'extrémité du levier, le poids *entier* du frein exerçait nécessairement sur les coussinets des pressions et par conséquent des frottements dont le moment correspondant échappait complètement à la mesure. Dans le frein de M. J. Carpentier, les frottements développés s'augmentent encore de ceux du poids $2p$ qu'on est obligé d'employer pour obtenir un frottement suffisant sur la poulie motrice. Dans la balance de M. Raffard il est facile de voir que l'effort moteur développé donne naissance à une force verticale exercée *de bas en haut* sur les coussinets et égale à $P - p$, mais comme l'ensemble constitué par les trois poulies, l'arbre, l'étrier et la partie des sangles enroulées sur les poulies, possède un poids propre qui agit de *haut en bas*, il est clair que la pression réellement exercée sur les coussinets est seulement égale à la différence de ces deux forces. Si cette différence est nulle, c'est-à-dire si le poids du frein est précisément égal à l'effort moteur $(P - p)$ les pressions exercées sont rigoureusement nulles et l'arbre tourne en équilibre dans ses coussinets. Il est clair que si ces considérations sont exactes on doit pouvoir dévisser impunément les chapeaux qui maintiennent en place les coussinets. L'auteur de cette

communication a eu maintes fois l'occasion de répéter cette expérience, dans les ateliers Bréguet, et de voir le frein tourner en équilibre dans l'espace comme une toupie gyroscopique.

En pratique ces conditions d'équilibre rigoureux n'étant pas toujours réalisées, il se développe bien quelques petits frottements, mais l'erreur qu'on peut commettre de ce chef ne dépasse jamais un demi pour cent. M. Raffard est même parvenu à éliminer complètement cette légère cause d'erreur en prolongeant dans les coussinets les moyeux des poulies folles, de sorte que ce sont ces moyeux eux-mêmes qui formant coussinets, supportent les frottements développés et en transmettent *intégralement* le moment correspondant aux sangles *b* et *b'*. On peut remarquer qu'avec les dispositions mécaniques si judicieuses adoptées par M. Raffard il n'y a pas de gauchissements à craindre, puisque les forces développées s'exercent dans le plan des poulies d'une façon invariable. D'autre part l'inventeur a eu soin de rendre indépendantes de l'étrier, les deux poulies folles de sorte que celles-ci peuvent être déplacées et ne s'ovalisent pas en s'usant toujours du même côté.

Enfin le poids même des sangles n'intervient plus pour fausser les mesures puisque la longueur développée reste indépendante des petits déplacements angulaires des poulies folles.

Un fait extrêmement remarquable qui montre bien que l'énergie mécanique est complètement transformée en chaleur c'est que l'usure de la sangle frottante est insignifiante. Nous avons eu occasion de voir une de ces sangles fonctionner plusieurs heures par semaine et, dans ces conditions, effectuer un service qui a duré près d'une année. La seule précaution à prendre est d'assurer un arrosage convenable de la sangle avec de l'eau dans laquelle on fait dissoudre du savon gras et un peu de carbonate de soude. Grâce à la chaleur développée, ces deux corps possèdent la précieuse propriété de saponifier l'huile de graissage qui tombe sur la sangle frottante et vient boucher ses pores en empêchant l'eau d'arriver jusqu'à la périphérie de la poulie. Sans cette circonstance le savon et le carbonate de soude seraient inutiles, l'eau pure étant le meilleur de tous les lubréfiants. Une sangle qui reste parfaitement propre est susceptible d'un très long service et d'ailleurs le remplacement en est fort peu coûteux.

Si nous avons tenu à insister sur les détails de construction du frein de M. Raffard, c'est que ces détails en font toute la valeur et montrent bien clairement avec quelle entente de la question et quelle précision cet éminent praticien est parvenu à éliminer systématiquement toutes les causes d'erreur susceptibles de fausser d'une façon appréciable l'exactitude des mesures et à faire du frein funiculaire un véritable appareil industriel permettant de peser, en quelque sorte, un effort moteur avec toute l'exactitude que comporte l'instrument le plus précis que l'homme ait créé, la balance.

Le frein funiculaire se prêtant aisément à des expériences sur le frottement,

M. Raffard en a fait un certain nombre qui montrent que l'intensité du frottement d'une courroie sur sa poulie, très faible au départ, augmente rapidement avec la vitesse et ne devient à peu près constante qu'avec de très grandes vitesses. Ainsi, quand on fait tourner d'abord très lentement puis plus vite l'arbre du frein, expérience facile à réaliser et dans d'excellentes conditions à l'aide d'un moteur électrique, on constate que l'arc d'embrassement de la courroie diminue à mesure que la vitesse augmente, le plus grand arc d'enroulement correspondant à une vitesse sensiblement nulle. Si on porte en abscisses les vitesses angulaires de la poulie du frein et en ordonnées les arcs d'embrassement correspondants, on obtient une courbe qui diffère fort peu d'une hyperbole équilatère dont les assymptotes seraient parallèles aux axes coordonnés.

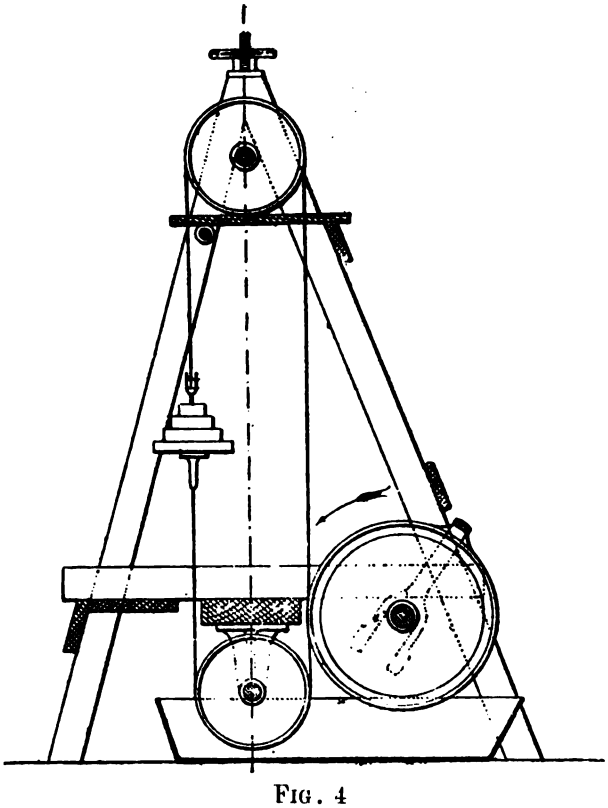


FIG. 4

Cette loi du frottement des courroies explique les doutes et les divergences des premiers expérimentateurs sur le frottement ; ceux qui expérimentaient seulement sur les petites vitesses ne pouvaient être d'accord avec ceux qui opéraient sur les grandes. Il ne faut donc accepter que sous bénéfice d'inventaire les coefficients donnés dans les formulaires et les traités spéciaux.

Le fait que l'adhérence des courroies est très faible quand leur vitesse de déplacement est très petite, était déjà instinctivement connue des praticiens, car aujourd'hui dans l'industrie on n'emploie pas la courroie pour transmettre un mouvement lent.

A l'exposition d'électricité de 1881, Sir William Thomson s'est servi de la balance de M. Raffard pour démontrer que le frottement est plus faible avec de l'eau qu'avec de l'huile, contrairement à ce qu'on avait supposé.

Dans ces derniers temps M. Raffard a apporté quelques variantes à son frein de façon à simplifier sa construction et à généraliser son emploi.

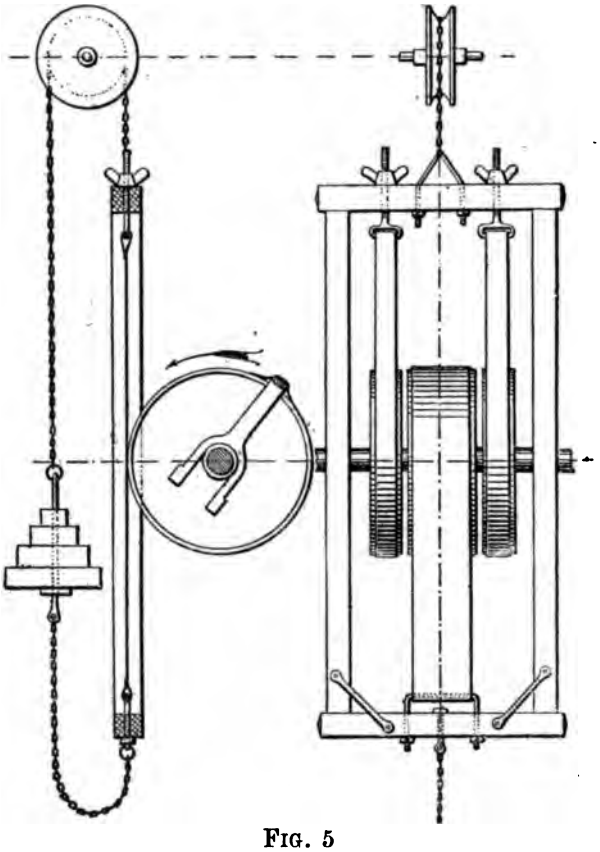


FIG. 5

Si on considère que la charge p (fig. 2) ne sert qu'à exercer un frottement convenable sur la poulie motrice, il y a lieu de se demander s'il ne serait pas possible de supprimer son emploi, ce qui permettrait de réduire le matériel ou d'augmenter la puissance de la balance avec le même nombre de poids.

L'auteur de cette communication a proposé dans ce but, à l'inventeur, la dispo-

sition représentée par la figure 4, qui a l'avantage de permettre d'opérer sur un arbre situé tout près du sol. Dans cette disposition, les sangles forment un circuit fermé qui vient s'enrouler sur deux poulies de renvoi. La poulie inférieure est fixe, et l'axe de la poulie supérieure est fixée sur une chape commandée par une vis munie d'un petit volant.

En agissant sur ce volant, on peut donner aux sangles, pendant le fonctionnement même de l'appareil, la tension la plus convenable, de sorte qu'avec le même nombre de poids, on peut mesurer un effort trois ou quatre fois plus considérable.

M. Raffard a imaginé une disposition beaucoup plus simple encore, et qui rappelle assez bien le balancier à lanière des vieilles presses d'imprimerie. Cette disposition est représentée par la figure 5. Les extrémités des sangles sont fixées directement sur les deux plus petits côtés d'un cadre en bois, mais qu'il est préférable de construire en partie avec des tubes de fer. Les parties supérieures et inférieures de ce châssis sont constituées par deux fortes traverses au travers desquelles passent les tiges des boucles qui reçoivent les extrémités des sangles. Ces tiges, filetées et munies d'écrous à oreilles, sont destinées à régler et à maintenir la tension initiale des sangles, de manière à produire le frottement nécessaire à l'équilibre de la charge du frein.

L'ensemble, constitué par le châssis et ses sangles, est suspendu à l'extrémité d'une chaîne qui, après avoir passé sur une poulie de renvoi, descend verticalement et vient se fixer à la partie inférieure du châssis. Cette disposition en boucle a pour but d'équilibrer le poids de la chaîne par rapport à l'axe de la poulie de renvoi, et cela quelle que soit la position de la charge P. La tare du châssis et la charge du frein se placent sur une tringle munie de deux oreilles et d'une rondelle d'arrêt. Cette disposition est préférable à la précédente, puisqu'elle évite les frottements assez considérables développés sur les axes des deux poulies.

Lorsque l'axe du moteur sur lequel on désire effectuer les mesures est placé très près du sol, on place le châssis horizontalement, et on assure l'horizontalité de ses déplacements à l'aide de petits galets placés sous lui. A chaque extrémité du châssis, on fixe une chaîne qui, après s'être étendue horizontalement, passe sur une poulie et descend verticalement jusqu'au sol.

Les chaînes sont assez longues pour ne jamais quitter le sol, de façon à maintenir l'équilibre entre les brins déroulés et enroulés, quels que soient les déplacements du châssis.

La réalisation des nouveaux dispositifs que nous venons de décrire a donné lieu à une difficulté que M. Raffard a très habilement vaincue, et qu'il est nécessaire d'exposer.

Les sangles de chanvre, de 1 à 2 millimètres d'épaisseur, qui résistent si bien et d'une manière si surprenante au frottement prolongé, ne pouvaient être rendues plus épaisses, et par conséquent moins extensibles, sans nuire au passage de

l'eau, et partant au refroidissement. Elles ne pouvaient pas non plus être augmentées en largeur sans faire naître d'autres difficultés. En outre, les sangles végétales subissent des variations de longueur suivant qu'elles sont plus ou moins sèches ou mouillées, ou que l'effort qu'elles subissent est plus ou moins grand. Il en résulte qu'elles ne peuvent être employées pratiquement dans les systèmes fermés comme ceux que nous venons de décrire, et où la longueur des brins ne doit pas varier.

Cet inconvénient des sangles végétales qui, à vrai dire, n'en était pas un pour les premiers types de freins à contrepoids, devenait au contraire très grave dans les nouveaux dispositifs. En effet, l'effort $P - p$, qui fait équilibre au frottement, étant ordinairement compris entre le tiers et le quart de la somme de ces deux poids, on voit que, pour mesurer 100 chevaux à 600 tours par minute, avec un frein construit suivant l'ancien type, et dont le tambour aurait 3 mètres de circonférence, ce qui correspond à un effort tangentiel de 250 kilogrammes, il ne faudrait pas moins de 1 000 kilogrammes de poids. Dans les systèmes fermés, munis de sangles rigides, on peut, par une tension préalable des brins, n'avoir besoin que de 250 kilogrammes, la charge même du frein.

Les sangles de lin ou de chanvre de faible épaisseur, ayant toujours donné toute satisfaction à cause de la facilité avec laquelle elles laissent passer l'eau, M. Raffard rechercha le moyen de les utiliser encore dans les nouveaux dispositifs, en leur fournissant la résistance et l'inextensibilité qui leur manquaient. C'est alors qu'il eût l'idée de les consolider avec des sangles métalliques (courroies Lieberman) qui, comme on le sait, sont très minces, très flexibles, très résistantes, et de plus laissent facilement passer l'eau. La sangle métallique, qui semble avoir été créée exprès pour les freins funiculaires, fut une véritable trouvaille, car les résultats dépassèrent toute espérance. Non seulement, la sangle végétale, dont elle était doublée, résista mieux, s'il est possible, qu'auparavant, mais la puissance du frein put être doublée sans inconvénient. L'expérience a montré que la sangle métallique facilite la répartition parfaite de l'eau à la surface de la sangle végétale, et que sa conductibilité aide à la dissipation de la chaleur développée.

M. Raffard a également appliqué les sangles métalliques à sa grande balance dynamométrique, type 1885, dont la figure 6 reproduit les dispositions principales. Le poids p est remplacé dans le nouveau modèle par une chaîne formant avec les sangles métalliques un système fermé, et constamment équilibré, qui permet de supprimer également les 2/3 des poids nécessaires au fonctionnement de l'ancien modèle. Mais cette suppression de la majeure partie des poids, réduisant d'autant l'inertie de la partie mobile de l'appareil, il en résulte des oscillations plus rapides de la charge du frein, ce qui peut être gênant dans certains cas. Pour parer à cet inconvénient, l'appareil est muni de deux organes spéciaux.

L'un d'eux, emprunté à un appareil de M. James Thompson, professeur de mécanique à l'Université de Glasgow, est constitué par deux volants V montés sur un arbre léger. Chacun de ces volants est muni d'un pignon qui engrène, avec la circonférence dentée, des poulies folles du frein. Dans ces conditions, l'inertie des volants servant d'amortisseurs oppose une résistance d'autant plus énergique au mouvement des poulies que les variations de vitesse sont plus brus-

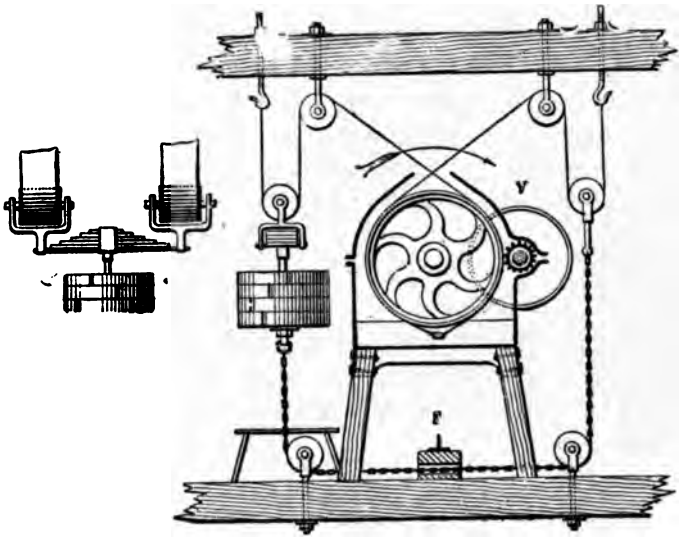


FIG. 6

ques, mais n'offre aucune résistance appréciable aux mouvements lents. Au moment de la mise en marche ou de l'arrêt du frein, l'opérateur laisse glisser entre ses mains la jante d'un des volants, et évite ainsi les soubresauts et les mouvements de recul. L'autre organe est un frein F, constitué par deux mâchoires en bois qui, habituellement écartées, laissent passer librement la chaîne, mais que l'opérateur peut serrer énergiquement avec le pied de manière à ralentir ou même à supprimer complètement le mouvement de recul qu'effectue toujours la charge du frein au moment de l'arrêt.

Il suffirait d'apporter à cette dernière disposition des modifications peu importantes pour constituer un véritable appareil de physique, au moyen duquel on pourrait déterminer avec une très grande précision l'équivalent mécanique de la chaleur. Jusqu'ici, cette mesure n'a été effectuée qu'à l'aide de petits appareils, véritables joujoux, n'absorbant qu'un ou deux kilogrammètres par seconde. Le frein dynamométrique de M. Raffard, pouvant permettre d'effectuer cette détermination en opérant avec une centaine de chevaux, il serait parfaitement pos-

sible d'obtenir cet équivalent avec une exactitude qui peut porter sur trois ou quatre chiffres au moins.

Depuis 1880, le nouveau frein a fait trop suffisamment ses preuves pour qu'il soit nécessaire d'insister davantage. D'ailleurs, il n'est pas de laboratoire en Europe et aux États-Unis qui ne soit muni du frein dynamométrique de M. Raffard, et il faut espérer que les ateliers suivront l'exemple donné par les laboratoires, d'autant plus que le nouveau frein et ses variantes n'ont fait, de la part de leur auteur, l'objet d'aucun brevet.

Le Mémoire de M. R. Arnoux sur la théorie des régulateurs à force contrifuge ne nous est pas parvenu en temps convenable pour qu'il ait pu être inséré à la place qu'il devait occuper dans la publication des travaux du Congrès.

NOTE

SUR UN

INDICATEUR de VITESSE ou CINEMOMÈTRE

ET SUR DES

indicateurs de travail et de puissance

PAR

MM. RICHARD Frères

L'objet de cette communication est de faire connaître une disposition mécanique applicable aux mesures industrielles permettant d'obtenir le produit ou le quotient de deux ou plusieurs mouvements. Mais, avant d'entrer dans son exposé, nous vous prions de nous permettre une courte digression et de signaler à votre attention, le rôle très intéressant que les instruments enregistreurs en général sont appelés à jouer dans l'industrie.

Si en effet nous considérons les questions de pression des générateurs ou encore de tirage des cheminées, nous voyons que l'emploi des enregistreurs appliqués à contrôler les phénomènes mécaniques procure des avantages considérables, au premier rang desquels il faut citer l'économie.

Nous avons entendu hier une très remarquable communication de M. Bour, sur l'utilité de la surveillance des appareils à vapeur. Eh bien cette surveillance est facilitée, au plus haut degré, par les appareils écrivant leurs indications sur un papier en l'absence des ingénieurs. Les manomètres enregistreurs et les indicateurs de niveau d'eau, par exemple, permettent, en cas d'accident, d'établir nettement les responsabilités s'ils ne suppriment pas complètement les chances d'explosion.

Lorsque les enregistreurs ont fait leur apparition dans les usines, ils ont tout d'abord été l'objet de la malveillance des ouvriers qu'ils étaient chargés de contrôler, mais ces ouvriers ont vite reconnu que l'enregistreur ne pouvait que leur

être utile. En effet, si d'une part l'ouvrier est l'objet d'un contrôle, il se trouve, d'autre part, déchargé de toute responsabilité, s'il fait bien le service pour lequel il est salarié ! De plus, les ingénieurs sont tout disposés à payer, par une prime supplémentaire, les opérations industrielles bien conduites, et dès lors l'enregistreur au lieu d'être regardé comme un ennemi se trouve devenir la cause d'un bénéfice pour tout le monde, car il suffit que l'ouvrier se sache surveillé pour qu'il fasse bien son service.

Nous pourrions citer à l'appui de cette assertion, de nombreuses usines où le cas s'est produit, à la raffinerie Say par exemple, toutes les opérations mécaniques sont aujourd'hui contrôlées, par des enregistreurs, pression de générateurs, tirage des cheminées, températures diverses de toutes les opérations d'une raffinerie, y compris celles des fours Siemens qui atteignent 1800 degrés, etc.

De plus les graphiques obtenus au moyen des enregistreurs permettent aux ingénieurs de se rendre compte des phénomènes qui échappent à l'observation directe et leur emploi a souvent des résultats les plus inattendus.

Par exemple, pour revenir à la raffinerie Say, un pyromètre enregistreur a décélé des pertes considérables de calorique dans les fours à décarbonater la strontiane et a été la cause d'une véritable révolution dans l'usine. On a substitué, du jour au lendemain, la production de l'oxyde de carbone par le coke à celle qui était faite par la houille. On a démoli pour 30 000 francs de fours. Mais l'année qui suivit ce nouveau régime montra qu'on avait réalisé une économie totale d'environ une centaine de mille francs.

Nous appelons donc toute votre attention sur l'utilité de développer les applications de ces appareils dans toutes les usines.

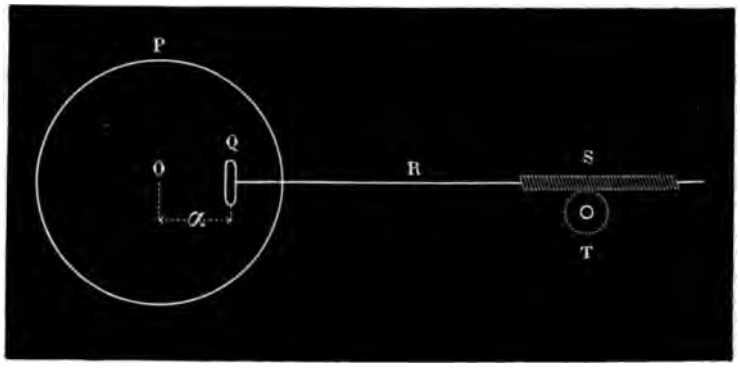
Cette digression terminée, nous allons aborder le point principal de cette communication, l'exposé d'un appareil destiné à donner le produit ou le quotient de deux ou plusieurs mesures.

A première vue, il semble qu'un semblable appareil ne soit que d'un intérêt spéculatif et qu'on ait guère d'occasion de l'utiliser. Mais il suffit de se rendre compte de ce que sont exactement la vitesse d'une machine, son travail, sa puissance, pour voir qu'une disposition mécanique justement cinématique et donnant le résultat d'un produit ou d'un quotient soit de la plus haute utilité au point de vue des mesures qu'on a intérêt de prendre dans les usines, la formule de la vitesse étant $V = \frac{e}{t}$ celle du travail étant $T = e \times F$, celle de la puissance étant $P = \frac{e \times F}{t}$.

Nous allons tout d'abord exposer le principe de l'appareil de produit et de quotient et nous examinerons ensuite de quelle manière nous l'avons appliqué et utilisé.

Considérons un plateau P, et, sur ce plateau, une roulette R appliquée contre sa

surface, supposons la roulette calée à l'extrémité d'un vis sans fin V engrenant avec une roue tangentielle S.



Admettons que la roulette R ne puisse pas glisser et animons le plateau P d'un mouvement de rotation A. Si la roulette R se trouve au centre du plateau quel que soit le mouvement de ce plateau, elle ne tournera pas, mais si nous la portons sur des rayons de plus en plus grands, elle tournera :

1° proportionnellement au mouvement A.

2° proportionnellement à la distance α. Elle tournera donc sans qu'il y ait besoin de le démontrer proportionnellement au produit $A\alpha$.

Par suite la roue S prendra un mouvement proportionnel à ce produit, et nous aurons en appelant B ce mouvement.

$$B = \alpha A$$

Ceci suppose que α et A sont les quantités connues et B l'inconnue, mais si nous nous donnons A et B nous aurons évidemment :

$$\alpha = \frac{B}{A}$$

L'ensemble du plateau, de la roulette et de la roue tangentielle nous fournit donc un moyen mécanique d'obtenir un produit ou un quotient, mais il ne nous le fournit qu'à une condition expresse c'est qu'il n'y ait point glissement de la roulette sur le plateau.

Or pratiquement et tel que, cela est presque impossible. Nous avons eu l'idée de remplacer le frottement d'entraînement par un roulement en plaçant parallèlement un deuxième plateau tournant en sens inverse du premier et appuyant sur la roulette au moyen d'un ressort. De cette façon, même si les plateaux n'étaient point rigoureusement plans, il ne pourrait y avoir glissement. La roulette se trouve toujours et parfaitement entraînée.

Ce principe posé, nous allons montrer comment nous l'avons utilisé et quels appareils nous avons ainsi pu construire.

Le premier est l'indicateur de vitesse.

La vitesse a, comme nous l'avons dit plus haut, pour formule $V = \frac{e}{t}$ e désignant l'espace parcouru, et t le temps.

L'espace parcouru étant, dans une machine, le nombre de tours, ce qu'il faut indiquer c'est le quotient du nombre de tours par le temps. Notre appareil est par suite construit de la manière suivante :

Un arbre portant une poulie commandée par la machine fait tourner la roue tangentielle désignée par S, il tend à entraîner la roulette loin du centre des plateaux, mais en même temps il entraîne un régulateur isochrône Foucault qui commande le plateau. Ceux-ci se mettent donc à tourner proportionnellement au temps et tendent à ramener à leur centre la roulette. La roulette vient alors chercher, sur la surface des plateaux, une position qui correspond au régime d'équilibre devant exister entre le mouvement de la roue tangentielle et celui du plateau, position qui, comme nous l'avons vu, correspond au quotient des deux mouvements, c'est-à-dire à la vitesse absolue.

Comme cette position est donnée par les déplacements de la roulette, on transmet ceux-ci, par un moyen très simple, à une aiguille indicatrice ou à un style enregistreur.

Notre appareil donne comme vous le voyez la vitesse dans son expression absolue par une fonction cinématique et par conséquent sans consommer de force appréciable. Ses indications sont absolument indépendantes de l'état de lubrifaction des organes. Vous savez combien cette qualité existe peu dans les appareils dits tachymètres, dans lesquels on fait produire à la machine une force, telle que la force centrifuge par exemple, qu'on vient mesurer à l'aide de poids ou de ressorts.

Pour avoir le travail, celui-ci étant égal au produit de l'espace parcouru par l'effort sur l'arbre, nous faisons tourner les deux plateaux proportionnellement au nombre de tours par une commande de poulie et nous faisons déplacer la roulette proportionnellement à l'effort de l'arbre en la faisant déplacer par un dynamomètre de rotation. La roue tangentielle prend alors un mouvement égal

au travail et indique sur un compteur à cadran le nombre de kilogrammètres dépensés.

Dynamomètre de White à sommier. Dans le totalisateur de travail dont nous venons de parler, le dynanomètre peut être quelconque, nous recommandons cependant l'emploi du dynamomètre de *White* modifié par nous. Dans ce nouvel appareil nous faisons agir l'effort sur un sommier rempli de liquide et l'effort est perçu au moyen d'un manomètre. Les avantages de cette disposition sont nombreux. Nous citerons, entre autres, la suppression complète des effets d'inertie, l'absence d'axes, de pivots, etc., dont le frottement est une cause d'erreur, enfin le remplacement facile de l'organe de mesure qui peut toujours être réétalonné facilement.

Pour passer du travail à la puissance il faut diviser le travail par le temps, puisque la formule est $P = \frac{e \times F}{t}$.

Le travail étant traduit dans l'appareil précédent par un mouvement de rotation de la roue tangentielle nous faisons agir cette roue sur une seconde vis sans fin dont l'extrémité porte une roulette laminée par deux plateaux qui sont mus d'un mouvement isochrône par un régulateur Foucault.

D'après les principes que nous avons émis plus haut, la roulette prend sur cette seconde paire de plateaux une position qui correspond au mouvement de la roue tangentielle divisé par le mouvement des plateaux. Cette position correspond donc à la puissance puisqu'elle est constamment proportionnelle au travail divisé par le temps, elle est donc l'expression absolue de la formule $P = \frac{e \times F}{t}$.

On transmet les déplacements de la roulette à une aiguille indicatrice ou à un style enregistreur qui inscrit ainsi sans aucun calcul le nombre de kilogrammètres-seconde dépensés à chaque instant.

Nous appelons de nouveau votre attention sur ce point que la puissance, c'est-à dire un nombre de kilogrammètres-seconde, et le travail, c'est-à-dire un nombre de kilogrammètres, sont indiqués sans la création de forces qui peuvent consommer elles-mêmes du travail, c'est par des opérations cinématiques pures que ces appareils fonctionnent.

Nous ne voudrions pas abuser de votre bienveillance et passer en revue tous les appareils dans lesquels nous avons appliqué ce procédé cinématique. Nous vous décrirons cependant un appareil de même genre destiné tout particulièreaux ingénieurs. Nous voulons parler du planimètre. Cet appareil est, comme vous le savez, destiné à donner la surface d'un diagramme.

Jusqu'à présent le seul planimètre connu est celui d'Amsler, mais tous ceux qui l'ont eu entre les mains savent combien il est délicat et sujet à ne pas fonctionner. Le galet qui doit tantôt rouler sur le papier tantôt glisser ne fonctionne pas de la même façon sur tous les papiers. Ceux-ci se trouvent trop glacés, ceux-là pas assez.

Or qu'est la surface d'un diagramme, c'est le produit de la base par les diverses ordonnées. L'appareil que nous avons décrit nous donnant les produits doit pouvoir s'appliquer ici. En effet, si nous faisons tourner les plateaux proportionnellement à la base d'un diagramme et que nous déplacions la roulette en suivant le contour des diagrammes c'est-à-dire proportionnellement aux diverses ordonnées, la roue tangentielle nous donnera au moyen d'un compteur à cadran le nombre de centimètres carrés représentant l'aire ou surface du diagramme.

Les indications du planimètre ainsi construit sont naturellement indépendantes de l'état du papier à diagrammes et l'appareil devient un instrument solide, d'une manœuvre facile, et pouvant être mis dans les mains de tout le monde.

Vous concevez parfaitement que notre appareil de produit peut être appliqué à la totalisation de beaucoup d'autres phénomènes, tels que l'eau passant dans les grosses conduites de ville, la veine étant d'une part mesurée par des soupapes à levées proportionnelles et cette mesure étant multipliée par le temps ; tels que l'électricité fournie à un abonné, l'intensité étant mesurée par un galvanomètre et multipliée par le temps avec notre appareil, etc.

Le même procédé peut enfin et c'est la dernière incarnation de l'appareil dont j'aurai l'honneur de vous entretenir, le même procédé peut être employé disons-nous comme transmission à vitesse variable. Là n'est pas son moindre intérêt, en ce sens qu'il permet la construction d'un très curieux appareil avec lequel je terminerai cette communication.

Cet appareil est un indicateur de vitesse optique, c'est-à-dire permettant d'apprécier à vue la vitesse d'un mouvement sans qu'on ait à s'en approcher. En effet, le plateau tournant en fonction du temps, supposons que par un procédé quelconque, des plus faciles à réaliser, nous portions la roulette sur des rayons de plus en plus grands, la roue tangentielle se met à tourner de plus en plus vite. Montons donc sur l'axe de cette roue, un disque noir percé à sa périphérie de petites fenêtres et regardons une roue qui tourne. Si le temps que mettent deux fentes successives à venir devant l'œil, est plus grand que le temps que met la roue regardée à tourner, elle nous paraîtra animée d'un mouvement, mais comme nous pouvons augmenter à volonté la vitesse de notre disque, au fur et à mesure que nous ferons cette augmentation, la roue regardée paraîtra se ralentir jusqu'au moment où les deux temps étant égaux, la roue paraîtra absolument fixe. A ce moment il nous suffira de multiplier le nombre de fentes du disque par la vitesse de la roue tangentielle pour avoir la vitesse du mouvement considéré.

Nous avons pu ainsi mesurer la vitesse des battements d'ailes d'oiseaux et d'insectes, etc. L'appareil peut aussi être appliqué pour apprécier la vitesse d'un train dans lequel on se trouve sans prendre aucun mouvement sur les roues des wagons. L'indication est alors donnée par l'appareil, en mètres par seconde.

TABLE DES MATIÈRES

Contenues dans le Deuxième volume

DES

TRAVAUX DU CONGRÈS INTERNATIONAL DE MÉCANIQUE APPLIQUÉE

Pages

PREMIÈRE QUESTION. — Unification du cheval-vapeur. — Spécification de la puissance des générateurs à vapeur. — Rendement. — Rapport de M. Alfred Tresca 1

CINQUIÈME QUESTION. — Machines à vapeur à détente en cylindres successifs. -- Rapport de M. A. Mallet 7

PROGRÈS RÉALISÉS DANS LES MACHINES A VAPEUR DEPUIS 1878.

Conférence de M. E. Polonceau 21

Machines à tiroirs ordinaires 36

Machines à quatre distributeurs 43

Machines Woolf 59

Machines compound 65

Machines à triple expansion 105

Machines horizontales à grande vitesse 111

Machines verticales à grande vitesse 115

Machines compactes. 123

Machines Marines 137

Divers types en usage en 1878 138

Modifications apportées aux divers types de mach. compound depuis 1878 142

Machines à triple expansion 153

Note sur divers moyens d'économiser la vapeur dans les machines à un cylindre, par M. Dwelshauvers-Dery 171

Sur la détermination exacte des positions réciproques de l'extrémité de la bielle et de la manivelle et sur un diagramme de distribution tenant rigoureusement compte de l'obliquité des bielles par M. F. Dubost 185

Sur un nouveau procédé de commande des tiroirs de distribution au moyen de l'orientation facultative du collier d'excentrique, par M. Bonjour . . 193

La détente Meyer dans les locomotives, par Ad. Meyer 199

Communication sur un nouveau type de machine à vapeur accouplée, dit « type compound français » par M. A. de Landsée 205
Essais sur une application spéciale de compound aux machines locomotives existantes, par G.-A.-A. Middelberg, traduction de M. A. de Landsée . 219
Note sur l'aéro-condenseur, par M. F. Fouché. 229
L'arbre, la manivelle, la bielle et le volant, régularisation du mouvement dans les appareils à simple effet. Communication faite p. M. N.-J. Raffard 235
Le frein dynamométrique de M. N.-J. Raffard. Communication de M. Arnoux 245
Note sur un indicateur de vitesse ou cinémomètre et sur les indicateurs de travail et de puissance, par MM. Richard frères. 259

Paris. — Imp. E. Bernard & Cie, 71, rue La Condamine

TA 34c
C66
1989
v. 2

Stanford University Libraries
3 6105 010 766 181

DATE DUE

TIMOSHENKO COLLECTION
IN HOUSE USE ONLY

STANFORD UNIVERSITY LIBRARIES
STANFORD, CALIFORNIA 94305-6004

TA 34
C66
1889
v. 2

Stanford University Libraries
3 6105 010 766 181

DATE DUE

TIMOSHENKO COLLECTION
IN HOUSE USE ONLY

STANFORD UNIVERSITY LIBRARIES
STANFORD, CALIFORNIA 94305-6004